การรู้จำธนบัตรไทยด้วยเรียลไทม์แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ สำหรับผู้พิการทางสายตา

The Real Time Mobile Application for Banknote Recognition to Support Visually Impaired Persons

สุรีย์พร อังสุภานิช

Suriporn Angsupanich

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Management of Information Technology
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การรู้จำธนบัตรไทยด้วยเรียลไทม์แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ สำหรับผู้พิการทางสายตา

The Real Time Mobile Application for Banknote Recognition to Support Visually Impaired Persons

สุรีย์พร อังสุภานิช
Suriporn Angsupanich

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Management of Information Technology
Prince of Songkla University
2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การรู้จำธนบัตรไทยด้วยเรียลไทม์แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา

ผู้เขียน นางสาวสุรีย์พร อังสุภานิช
สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ดร.สูรีนา มะตาหยง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ดร.สมชัย หลิมศิโรรัตน์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม สุวรรณวร)

.....กรรมการ
(ดร.สูรีนา มะตาหยง)

.....กรรมการ
(ดร.สมชัย หลิมศิโรรัตน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ อิสิชัยกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....
(ดร. สูรีนา มะตาหยง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....
(ดร. สมชัย หลิมศิโรรัตน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ .....
(นางสาวสุรีย์พร อังสุภานิช)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....
(นางสาวสุรีย์พร อังสุภานิช)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การรู้จำธนบัตรไทยด้วยเรียลไทม์แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา
ผู้เขียน นางสาวสุรีย์พร อังสุภานิช
สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันการรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการจำแนกธนบัตรแต่ละชนิดที่มีสีแตกต่างกันชัดเจน ใช้เทคนิคจำแนกคุณลักษณะทางสีของธนบัตรด้วยการคำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยหรือคำนวณเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมของสี ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถจำแนกได้ง่ายและรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัด หากนำไปตรวจสอบกับวัตถุที่ไม่ใช่ธนบัตรแต่วัตถุนั้นมีค่าเฉลี่ยสีที่ใกล้เคียงกับสีของชนิดธนบัตร อาจส่งผลให้ระบบมีโอกาสประมวลผลผิดพลาดและระบุวัตถุนั้นเป็นธนบัตรได้ นอกจากนั้นแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรผู้พิการทางสายตาบนอุปกรณ์เคลื่อนที่มีจำนวนจำกัดและยังขาดการประมวลผลแบบเรียลไทม์ทำให้ไม่สามารถเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานต่อผู้ใช้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิค Haar like feature ในการรู้จำตรวจจับวัตถุภาพที่เป็นธนบัตรแบบเรียลไทม์ ใช้เทคนิคการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีเพื่อจำแนกชนิดธนบัตร และอ่านค่าธนบัตรที่ได้ด้วยเทคนิคการแปลงข้อความเป็นเสียงพูด ต้นแบบระบบถูกพัฒนาในรูปแบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อเป็นแนวทางการประเมินผลการใช้งานแอปพลิเคชันตามคุณสมบัติความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชันที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยตัวชี้วัดความสามารถในการใช้งาน การประเมินผลวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ประเมินผลด้านประสิทธิผลความถูกต้องการรู้จำธนบัตรโดยการตรวจสอบธนบัตรไทยทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ธนบัตรชนิด 20 บาท 50 บาท 100 บาท 500 บาท และ 1000 บาท ชนิดละ 20 ใบ รวมทั้งหมดจำนวน 100 ใบ คลอบคลุมไปยังธนบัตรเลียนแบบและวัตถุที่ไม่ใช่ธนบัตรที่มีเฉดสีใกล้เคียงกับเฉดสีของธนบัตรแต่ละชนิด เพื่อวัดความถูกต้องของการรู้จำธนบัตร และ 2) ประเมินผลด้านความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชันด้วยการนำแอปพลิเคชันให้ผู้พิการทดสอบใช้งานและตอบแบบสอบถามความพึงพอใจการใช้งานที่ได้ออกแบบตามปัจจัยตัวชี้วัดความสามารถในการใช้งาน ซผลการดำเนินงานวิจัยด้านประสิทธิผลการรู้จำธนบัตรในระดับความถูกต้องที่ 88 % ด้านความพึงพอใจต่อการใช้งานอยู่ในระดับดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้นแบบแอปพลิเคชันการรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตาด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับวัตถุด้วย Haar-like feature และการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีสามารถนำไปใช้กับผู้พิการทางสายตาได้

Thesis Title	The Real Time Mobile Application for Banknote Recognition to Support Visually Impaired Persons
Author	Miss Suriporn Angsupanich
Major Program	Management of Information Technology
Academic Years	2017

ABSTRACT

This research aims to develop prototype of the real time mobile application for banknote recognition to support visually impaired persons. Based on literature review, the identification of each banknote with different colors were classifying according to color characteristics by calculating the average value or comparing the histogram of the color. Although, the color classification is considered as an easy and fast way to categorize banknotes. However, this method has limitations of detection incorrectness for similar object to the banknotes object. This may result error processing and wrong identification of the object as banknotes. In addition, there is deficiency of visually impaired mobile applications with real-time processing, which are usable to user experiences. Therefore, this research proposes the application of the Haar Like Feature to real-time detection and recognition of banknotes, histogram technique to identify banknote types, and text-to-speech method to read types of banknotes out loud. System prototype was developed as an Android-based mobile application. This is a guide to evaluating application performance based on applied techniques abilities and application usability. The research evaluation was divided into 2 parts: 1) evaluation the effectiveness of the banknote recognition by examining 5 types of Thai banknotes: 20 baht, 50 baht, 100 baht, and 1,000 baht 20 banknotes for each type with total amount of 100 pieces. This is included false banknotes and non-banknote objects with colors similar to the color of each banknote. 2) Assessment the usability of the application for user satisfaction. The results of the research on the effectiveness of banknote recognition is at 88% for accuracy level and the result of user satisfaction is at a good level. This research result indicates that the real time mobile application for banknote recognition to support visually impaired persons by applying Haar-Like Feature detection techniques and histogram comparisons can be used to support visually impaired persons.

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงคำขอบพระคุณ ดร.สูรีนา มะตาหยง อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่าง ๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งแนวความคิดและกำลังใจในการแก้ปัญหา ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.สมชัย หลิมศิโรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัย ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่าง ๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งแนวความคิดและกำลังใจในการแก้ปัญหาต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม สุวรรณวร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่าง ๆ เป็นอย่างดี รวมทั้งแนวความคิด และกำลังใจในการแก้ปัญหาต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ อิสิชัยกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.อนันท์ ชกสุริวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรัตน์ สุริยะไชย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชราวลี ตั้งคุปตานนท์ กรรมการสอบความก้าวหน้าวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่หลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณคุณครูและนักเรียนโรงเรียนการศึกษาคนตาบอดธรรมสากลหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความร่วมมือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่าง ๆ

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา น้องสาวของข้าพเจ้าที่ส่งเสริมสนับสนุน ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจ และทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนกระทั่งทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

นางสาวสุรีย์พร อังสุภานิช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(9)
ศัพทานุกรม	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 ปัญหาและช่องว่างงานวิจัย	1
1.3 สมมุติฐานงานวิจัย	2
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
1.6 ขอบเขตของงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ผู้พิการทางสายตา	4
2.1.1 ความหมายของผู้พิการทางสายตา	4
2.2 ธนบัตรไทย	4
2.3 การตรวจจับวัตถุ	10
2.4 ฮิสโตแกรมสี	11
2.5 ระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด	11
2.6 ความสามารถในการใช้งาน	13
2.7 แบบจำลองทางความคิด	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	23
3.1 วิเคราะห์และออกแบบระบบ	24

3.1.1 ศึกษาการปฏิสัมพันธ์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้พิการทางสายตา 24
3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูล 25
3.1.3 วิเคราะห์ข้อมูล 26
3.1.4 องค์ประกอบของระบบรู้จำธนบัตร 28
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ 29
3.2.1 เครื่องมือ 29
3.2.2 อุปกรณ์ 29
3.3 กระบวนการพัฒนาระบบ 30
3.3.1 กระบวนการฝึกฝนเรียนรู้เพื่อสร้างตัวแบบธนบัตร 32
3.3.2 กระบวนการตรวจสอบภาพธนบัตร 36
3.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ 39
3.5 การทดสอบและประเมินผล 40
3.3.1 การทดลองและประเมินความถูกต้องของการรู้จำธนบัตร 40
3.3.2 การทดลองและประเมินความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชันกับผู้ใช้ 43
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 47
4.1 การวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตร 47
4.1.1 การทดลองวัดความถูกต้องการรู้จาธนบัตรด้วย
เทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี 43
4.1.2 การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จาธนบัตรด้วย
เทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature 58
4.1.3 การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จาธนบัตรด้วย
เทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี 58
4.1.4 การประเมินผลเพื่อวัดประสิทธิผลของการรู้จาธนบัตรด้วย
เทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี 63
4.2 การวัดความสามารถในการใช้งานของผู้ใช้ (Usability) 65
4.3 ผลลัพธ์การพัฒนาระบบ 69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 71
5.1 สรุปผลการวิจัย 71
5.2 ข้อเสนอแนะ 72
บรรณานุกรม 73
ภาคผนวก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่วิทยานิพนธ์ 76
ประวัติผู้เขียน 84

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบซอฟท์แวร์แปลงข้อความเป็นเสียงพูดภาษาไทย 12
ตารางที่ 2-2 รายละเอียดปัจจัยตัวชี้วัดแบบจำลอง PACMAD 14
ตารางที่ 2-3 งานวิจัยที่จำแนกด้วยคุณลักษณะทางสี 17
ตารางที่ 2-4 งานวิจัยที่จำแนกด้วยอัลกอริทึมอื่น ๆ 18
ตารางที่ 2-5 เทคนิคและวิธีการของงานวิจัยนี้ 19
ตารางที่ 2-6 งานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบและประเมินผลด้านความสามารถในการใช้งานของแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 20
ตารางที่ 2-7 ตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินด้านความสามารถในการใช้งานของงานวิจัยนี้ 22
ตางรางที่ 3-1 ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับประสบการณ์การใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 25
ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเอตร์ที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน 29
ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเอตร์ที่ใช้ในการฝึกฝนเรียนรู้ตัวแบบธนบัตร 30
ตารางที่ 3-4 สภาพแวดล้อมและเงื่อนไขในการทดสอบ 41
ตารางที่ 3-5 ทรัพยากรของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดสอบ 41
ตารางที่ 3-6 Confusion Matrix 42
ตารางที่ 3-7 ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพรู้จำธนบัตรชนิด 20 บาท 43
ตารางที่ 3-8 เกณฑ์การให้คะแนน 44
ตารางที่ 3-9 เกณฑ์การแปลความหมายจากคะแนนที่ได้ 44
ตารางที่ 3-10 แบบสอบถามความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 44
ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบกับภาพตั้งต้นชนิด 20 บาท 48
ตารางที่ 4-2 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 20 บาท 49
ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบกับภาพตั้งต้นชนิด 50 บาท 50
ตารางที่ 4-4 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 50 บาท 51

ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ
กับภาพตั้งต้นชนิด 100 บาท 52
ตารางที่ 4-6 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 100 บาท 53
ตารางที่ 4-7 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ
กับภาพตั้งต้นชนิด 500 บาท 54
ตารางที่ 4-8 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 500 บาท 55
ตารางที่ 4-9 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ
กับภาพตั้งต้นชนิด 1000 บาท 56
ตารางที่ 4-10 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 1000 บาท 57
ตารางที่ 4-11 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 20 บาท 58
ตารางที่ 4-12 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 50 บาท 58
ตารางที่ 4-13 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 100 บาท 59
ตารางที่ 4-14 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 100 บาท 59
ตารางที่ 4-15 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 1000 บาท 60
ตารางที่ 4-16 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบ
ฮิสโตแกรมสีของชนิด 20 บาท 61
ตารางที่ 4-17 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบ
ฮิสโตแกรมสีของชนิด 50 บาท 61
ตารางที่ 4-18 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบ
ฮิสโตแกรมสีของชนิด 100 บาท 62
ตารางที่ 4-19 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบ
ฮิสโตแกรมสีของชนิด 500 บาท 62
ตารางที่ 4-20 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบ
ฮิสโตแกรมสีของชนิด 1000 บาท 63
ตารางที่ 4-21 Confusion Matrix ที่ได้จากผลการทดสอบรู้จำธนบัตร 64
ตารางที่ 4-22 สรุปค่าประสิทธิผลการรู้จำธนบัตรแต่ละชนิด 64
ตารางที่ 4-23 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ 65

ตารางที่ 4-24 ผลการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจ 66

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 ธนบัตรชนิด 20 บาท 5

รูปที่ 2-2 ธนบัตรชนิด 50 บาท 6

รูปที่ 2-3 ธนบัตรชนิด 100 บาท 7

รูปที่ 2-4 ธนบัตรชนิด 500 บาท 8

รูปที่ 2-5 ธนบัตรชนิด 1000 บาท 9

รูปที่ 2-6 แบบจำลอง Haar-like feature 10

รูปที่ 2-7 กระบวนการตรวจจับวัตถุด้วย Haar-like feature 10

รูปที่ 2-8 ฮิสโตแกรมสีของรูปภาพ 11

รูปที่ 2-9 กระบวนการทำงานของระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด 12

รูปที่ 2-10 เปรียบเทียบแบบจำลองความสามารถการใช้งาน 14

รูปที่ 2-11 การออกแบบระบบที่มีการโต้ตอบกัน 16

รูปที่ 3-1 วิธีดำเนินการวิจัย 23

รูปที่ 3-2 ผู้ใช้สาธิตวิธีการใช้งานแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ 26

รูปที่ 3-3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ 27

รูปที่ 3-4 องค์ประกอบหลักของระบบรู้จำธนบัตร 28

รูปที่ 3-5 กระบวนการรู้จำธนบัตร 31

รูปที่ 3-6 อินพุตและเอาท์พุตที่ได้จากการฝึกฝนเรียนรู้ข้อมูลด้วย Haar Like Feature 32

รูปที่ 3-7 ตัวอย่างภาพธนบัตรที่ผ่านการปรับเตรียมเพื่อใช้ในขั้นตอน Training 33

รูปที่ 3-8 ผลลัพธ์ที่แสดงในระหว่างการฝึกฝนเรียนรู้ 36

รูปที่ 3-9 ไฟล์ xml ที่ได้จากกระบวนการ Training ข้อมูลภาพธนบัตร 36

รูปที่ 3-10 โครงสร้างของแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตร 37

รูปที่ 3-11 ขั้นตอนการจำแนกชนิดธนบัตรด้วยการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี 39

รูปที่ 3-12 แผนภาพกิจกรรมของระบบ 40

รูปที่ 4-1 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการทดลอง 47

รูปที่ 4-2 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 20 บาท 48

รูปที่ 4-3 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 50 บาท 50

รูปที่ 4-4 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 100 บาท 52

รูปที่ 4-5 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 500 บาท 54

รูปที่ 4-6 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 1000 บาท 56

รูปที่ 4-7 กราฟเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ ค่าความครบถ้วน และค่าความถ่วงดุล
การรู้จำธนบัตร 64

รูปที่ 4-8 เปรียบเทียบระดับคะแนนความพึงพอใจของแต่ละปัจจัยตัวชี้วัดความสามารถ
การใช้งาน 68

ศัพทานุกรม

Training	กระบวนการฝึกฝนเรียนรู้ข้อมูล
Testing	กระบวนการตรวจสอบข้อมูล
Feature	คุณลักษณะเด่นที่ปรากฏบนภาพ
Usability	ความสามารถในการใช้งานระบบของผู้ใช้
Precision	ค่าความแม่นยำ
Recall	ค่าความครบถ้วน
F-Measure	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแม่นยำกับค่าความครบถ้วน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การรู้จำธนบัตรคือวิธีการจำแนกเพื่อให้ทราบมูลค่าธนบัตรแต่ละประเภทถือเป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการทำธุรกรรมการเงินในชีวิตประจำวันของผู้พิการทางสายตา ถึงแม้ว่าธนาคารแห่งประเทศไทยออกแบบธนบัตรให้มีจุดนูนรูปดอกไม้แทนสัญลักษณ์อักษรเบรลล์แล้วก็ตาม แต่ยังมีผู้พิการทางสายตาอีกจำนวนมากที่ไม่เข้าใจและสามารถรับรู้อักษรเบรลล์ได้ ทั้งนี้หากธนบัตรผ่านการใช้งานมานานจุดนูนจะเลือนรางไปซึ่งทำให้ยากต่อการจำแนกประเภท ปัจจุบันการจำแนกประเภทธนบัตรของผู้พิการทางสายตามีหลายวิธีแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการวัดขนาดด้วยอุปกรณ์ที่จัดเตรียมไว้ การสัมผัสด้วยความเคยชิน หรือการเปรียบเทียบกับชนิดธนบัตรที่รู้มูลค่าก่อนแล้ว อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวข้างต้นยังไม่ยืนยันความถูกต้องมากนักอีกทั้งยังขาดความแม่นยำและไม่สามารถเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานเท่าที่ควร

1.2 ปัญหาและช่องว่างงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับระบบรู้จำธนบัตรผู้พิการทางสายตา สามารถระบุวิธีการเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก คือ วิธีการจำแนกคุณลักษณะทางสีด้วยการคำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสี Red Green Blue (RGB) หรือ คำนวณเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีกรณีธนบัตรแต่ละชนิดมีสีแตกต่างกันชัดเจนซึ่งสามารถจำแนกสีได้ง่าย ดังงานวิจัย [1] [2] [3] [4] (แสดงในตารางที่ 3) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถจำแนกได้ง่ายและรวดเร็วแต่ยังมีช่องว่างของงานวิจัยอยู่บางประการคือ หากผู้ใช้นำไปตรวจสอบกับวัตถุที่ไม่ใช่ธนบัตรแต่มีค่าเฉลี่ยสีที่ใกล้เคียงอาจส่งผลให้ระบบมีโอกาสทำงานผิดพลาดได้ ประเภทที่สอง จำแนกด้วยอัลกอริทึมประมวลผลภาพอื่น ๆ เช่น Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) , Speeded-Up Robust Features (SURF), Eigen faces และ Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) เป็นต้น วิธีการนี้เหมาะกับกรณีธนบัตรแต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างด้านคุณลักษณะสี เช่นงานวิจัย [5] [6] [7] [8] (แสดงในตารางที่ 4) ปัจจุบันแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรผู้พิการทางสายตาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่มีจำนวนจำกัด โดยส่วนใหญ่ระบบยังขาดการประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ ถึงแม้ต่างประเทศเช่น มาเลเซีย อียิปต์ สหรัฐอเมริกา และยุโรป สามารถพัฒนาระบบดังกล่าวให้แสดงผลลัพธ์เป็นเสียงพูดแล้วก็ตาม แต่ยังไม่มีการค้นพบในกรณีธนบัตรของประเทศไทย

จากปัญหาและข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้มีแนวคิดการพัฒนาแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยสำหรับผู้พิการทางสายตาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ด้วยเทคนิคตรวจจับวัตถุ Haar-like feature เพื่อตรวจหาวัตถุที่เป็นธนบัตร คำนวณเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีเพื่อจำแนกธนบัตรแต่ละชนิดที่มีคุณลักษณะสีแตกต่าง

กันชัดเจน และในส่วนของการแสดงผลลัพธ์ใช้เทคนิคการแปลงข้อความเป็นเสียงพูด ผู้วิจัยมุ่งหวังสร้างต้นแบบแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยที่ใช้งานง่ายและสะดวก เพื่อให้สามารถรองรับและตอบสนองความสามารถการใช้งานของผู้พิการทางสายตา

1.3 สมมุติฐานงานวิจัย

การพัฒนาแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ประมวลผลภาพธนบัตรแบบเรียลไทม์และให้ผลลัพธ์ชนิดธนบัตรเป็นเสียงพูด จะสามารถสร้างความสะดวกด้านความสามารถในการใช้งาน (Usability) ให้ผู้พิการทางสายตาได้

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.4.1 พัฒนาต้นแบบแอปพลิเคชันการรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา โดยประยุกต์ใช้การตรวจจับวัตถุด้วยเทคนิค Haar-like feature มาตรวจจับภาพธนบัตรและเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีเพื่อจำแนกชนิดธนบัตรมาใช้ในการรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์

1.4.2 ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการแปลงข้อความเปนเสียงพูดมาใช้งานกับแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ด้วยเสียงพูด

1.4.3 เพื่อศึกษาปัจจัยตัวชี้วัดและประเมินผลด้าน usability ของต้นแบบแอปพลิเคชัน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 มีต้นแบบแอปพลิเคชันการรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานง่ายสำหรับผู้พิการทางสายตา

1.5.2 ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิค Haar like feature มาใช้การตรวจจับภาพธนบัตรแบบเรียลไทม์และใช้เทคนิคการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีเพื่อจำแนกชนิดธนบัตรและอ่านค่าธนบัตรที่ได้เทคนิคการแปลงข้อความเป็นเสียงพูดไปยังผู้ใช้

1.5.3 สามารถรู้ถึงปัจจัยด้านความสามารถในการใช้งาน (Usability) เพื่อประเมินผลการพัฒนาแอปพลิเคชันการรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา

1.5.4 ผู้พิการทางสายตาสามารถจำแนกประเภทมูลค่าธนบัตรแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้องและสะดวกสบายในการใช้งาน

1.6 ขอบเขตของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้แบ่งขอบเขตของงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1.6.1 การทำงานของแอปพลิเคชัน

แอปพลิเคชันที่พัฒนาเป็นแอปพลิเคชันที่ใช้งานบนโทรศัพท์เคลื่อนที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีความสามารถดังนี้

(1) วิเคราะห์และประมวลผลภาพธนบัตรแบบเรียลไทม์ ผ่านทางกล้องของโทรศัพท์เคลื่อนที่

(2) ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพธนบัตรแปลงเป็นเสียงพูด

(3) ระบบทำงานได้ก็ต่อเมื่อธนบัตรเต็มใบ ไม่สามารถพับได้

(4) แอปพลิเคชันไม่สามารถทำงานได้ในที่มืด

1.6.2 ชนิดธนบัตรที่แอปพลิเคชันรองรับ

รองรับภาพธนบัตรไทยรุ่นที่ 16 ประกอบด้วยธนบัตรชนิด 20, 50, 100, 500 และ 1000 บาท

1.6.3 กลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลและทดสอบใช้งานแอปพลิเคชัน

ครูและนักเรียนซึ่งตาบอดสนิท ที่มีโทรศัพท์เคลื่อนที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จำนวน 5 คนจากโรงเรียนการศึกษาคนตาบอดธรรมสากลหาดใหญ่ ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผู้พิการทางสายตา

2.1.1 ความหมายผู้พิการทางสายตา

ผู้พิการทางสายตา หมายถึง บุคคลซึ่งมีความบกพร่องทางสายตาทำให้มีข้อจำกัดในการมองเห็น จำเป็นจะต้องได้รับความช่วยเหลือด้านหนึ่งด้านใดเพื่อให้สามารถปฏิบัติกิจกรรมในชีวิตประจำวันหรือการมีส่วนร่วมทางสังคมได้อย่างบุคคลทั่วไป ซึ่งทางแพทย์กำหนดไว้ มี 2 ประเภท [15] ได้แก่

(1) คนตาเห็นเลือนราง ได้แก่ คนที่มีความบกพร่องทางสายตา สามารถมองเห็นบ้างแต่ไม่เท่าคนปกติ เมื่อตรวจวัดการเห็นของสายตาข้างที่ดีกว่า เมื่อใช้แว่นสายตาธรรมดาแล้ว อยู่ในระดับตั้งแต่ 3 ส่วน 60 เมตร (3/60) หรือ 20 ส่วน 400 ฟุต (20/400) ไปจนถึงแย่กว่า 6 ส่วน 18 เมตร (6/18) หรือ 20 ส่วน 70 ฟุต (20/70) หรือมีลานสายตาแคบกว่า 30 องศา

(2) คนตาบอด ได้แก่ คนที่มองไม่เห็นหรืออาจมองเห็นบ้าง และไม่สามารถใช้สายตาข้างที่เห็นดีที่สุดให้เป็นประโยชน์ได้ เมื่อตรวจวัดการเห็นของสายตาข้างที่ดีกว่าเมื่อใช้แว่นสายตาธรรมดาแล้ว อยู่ในระดับแย่กว่า 3 ส่วน 60 เมตร (3/60) หรือ 20 ส่วน 400 ฟุต (20/400) ลงมาจนกระทั่งมองไม่เห็นแม้แต่แสงสว่าง หรือมีลานสายตาแคบกว่า 10 องศา

2.2 ธนบัตรไทย

ธนาคารแห่งประเทศไทยได้จำแนกประเภทธนบัตรออกเป็น 5 ชนิด คือ 20, 50, 100, 500 และ 1000 บาท แต่ละชนิดมีสีที่แตกต่างกัน โดยธนบัตรปัจจุบันคือ รุ่นที่ 16 แสดงดังรูปที่ 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 และ 2-5

2.2.1 ธนบัตรชนิด 20 บาท

รูปที่ 2-1 ธนบัตรชนิด 20 บาท

ขนาด : 7.20 x 13.80 เซนติเมตร

เฉดสี : เขียว

ด้านหน้า

ภาพประธานด้านหน้า : พระบรมฉายาสาทิสลักษณ์พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในฉลองพระองค์ครุยมหาจักรีบรมราชวงศ์

ตำแหน่งกลางธนบัตร : ตัวเลขไทย ๒๐

มุมซ้ายบน : Serial Number เลขไทย

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 20 และตัวอักษร “ยี่สิบบาท”

มุมซ้ายล่าง : สัญลักษณ์ลวดลายดอกไม้แต่ละชนิด

มุมขวาล่าง : Serial Number เลขอารบิก และสัญลักษณ์รูปดอกไม้แทนอักษรเบรลล์

ด้านหลัง :

ภาพประธานด้านหลัง : พระบรมราชานุสาวรีย์ พ่อขุนรามคำแหง ประทับบนพระแท่นมนังศิลาบาตร

มุมซ้ายบน : สัญลักษณ์ตราครุฑ

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 20

มุมซ้ายล่าง : ตัวเลขไทย ๒๐

มุมขวาล่าง : ลวดลายกนก

2.2.2 ธนบัตรชนิด 50 บาท

รูปที่ 2-2 ธนบัตรชนิด 50 บาท

ขนาด : 7.20 x 14.40 เซนติเมตร

เฉดสี : น้ำเงิน

ด้านหน้า

ภาพประธานด้านหน้า : พระบรมฉายาสาทิสลักษณ์พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในฉลองพระองค์ครุยมหาจักรีบรมราชวงศ์

ตำแหน่งกลางธนบัตร : ตัวเลขไทย ๕๐

มุมซ้ายบน : Serial Number เลขไทย

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 50 และตัวอักษร “ห้าสิบบาท”

มุมซ้ายล่าง : สัญลักษณ์ลวดลายดอกไม้แต่ละชนิด

มุมขวาล่าง : Serial Number เลขอารบิก และสัญลักษณ์รูปดอกไม้แทนอักษรเบรลล์

ด้านหลัง :

ภาพประธานด้านหลัง : พระบรมราชานุสาวรีย์ สมเด็จพระนเรศวรมหาราช ทรงหลั่งทักษิโณทก

มุมซ้ายบน : สัญลักษณ์ตราครุฑ

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 50

มุมซ้ายล่าง : ตัวเลขไทย ๕๐

มุมขวาล่าง : ลวดลายกนก

2.2.3 ธนบัตรชนิด 100 บาท

รูปที่ 2-3 ธนบัตรชนิด 100 บาท

ขนาด : 7.20 x 15.00 เซนติเมตร

เฉดสี : แดง

ด้านหน้า

ภาพประธานด้านหน้า : พระบรมฉายาสาทิสลักษณ์พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในฉลองพระองค์ครุยมหาจักรีบรมราชวงศ์

ตำแหน่งกลางธนบัตร : ตัวเลขไทย ๑๐๐

มุมซ้ายบน : Serial Number เลขไทย

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 100 และตัวอักษร “หนึ่งร้อยบาท”

มุมซ้ายล่าง : สัญลักษณ์ลวดลายดอกไม้แต่ละชนิด

มุมขวาล่าง : Serial Number เลขอารบิก และสัญลักษณ์รูปดอกไม้แทนอักษรเบรลล์

ด้านหลัง :

ภาพประธานด้านหลัง : พระบรมรูปสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช ภาพทรงเกลี้ยกล่อมให้ประชาชนรวมกำลังกันต่อสู่กู้อิสรภาพ

มุมซ้ายบน : สัญลักษณ์ตราครุฑ

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 100

มุมซ้ายล่าง : ตัวเลขไทย ๑๐๐

มุมขวาล่าง : ลวดลายกนก

2.2.4 ธนบัตรชนิด 500 บาท

รูปที่ 2-4 ธนบัตรชนิด 500 บาท

ขนาด : 7.20 x 15.60 เซนติเมตร

เฉดสี : ม่วง

ด้านหน้า

ภาพประธานด้านหน้า : พระบรมฉายาสาทิสลักษณ์พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในฉลองพระองค์ครุยมหาจักรีบรมราชวงศ์

ตำแหน่งกลางธนบัตร : ตัวเลขไทย ๕๐๐

มุมซ้ายบน : Serial Number เลขไทย

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 500 และตัวอักษร “ห้าร้อยบาท”

มุมซ้ายล่าง : สัญลักษณ์ลวดลายดอกไม้แต่ละชนิด

มุมขวาล่าง : Serial Number เลขอารบิก และสัญลักษณ์รูปดอกไม้แทนอักษรเบรลล์

ด้านหลัง :

ภาพประธานด้านหลัง : พระบรมราชานุสาวรีย์พระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลกมหาราช

มุมซ้ายบน : สัญลักษณ์ตราครุฑ

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 500

มุมซ้ายล่าง : ตัวเลขไทย ๕๐๐

มุมขวาล่าง : ลวดลายกนก

2.2.5 ธนบัตรชนิด 1000 บาท

รูปที่ 2-5 ธนบัตรชนิด 1000 บาท

ขนาด : 7.20 x 16.20 เซนติเมตร

เฉดสี : เทา

ด้านหน้า

ภาพประธานด้านหน้า : พระบรมฉายาสาทิสลักษณ์พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ในฉลองพระองค์ครุยมหาจักรีบรมราชวงศ์

ตำแหน่งกลางธนบัตร : ตัวเลขไทย ๑๐๐๐

มุมซ้ายบน : Serial Number เลขไทย

มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 1000 และตัวอักษร “หนึ่งพันบาท”

มุมซ้ายล่าง : สัญลักษณ์ลวดลายดอกไม้แต่ละชนิด

มุมขวาล่าง : Serial Number เลขอารบิก และสัญลักษณ์รูปดอกไม้แทนอักษรเบรลล์

ด้านหลัง :

ภาพประธานด้านหลัง : พระบรมรูปพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว พระปิยมหาราช

มุมซ้ายบน : สัญลักษณ์ตราครุฑ

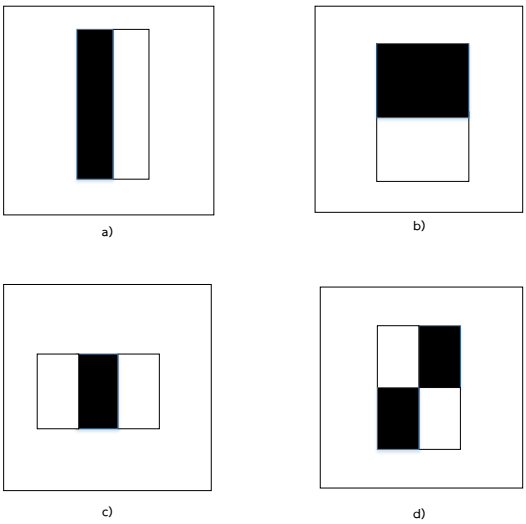
มุมขวาบน : ตัวเลขอารบิก 1000

มุมซ้ายล่าง : ตัวเลขไทย ๑๐๐๐

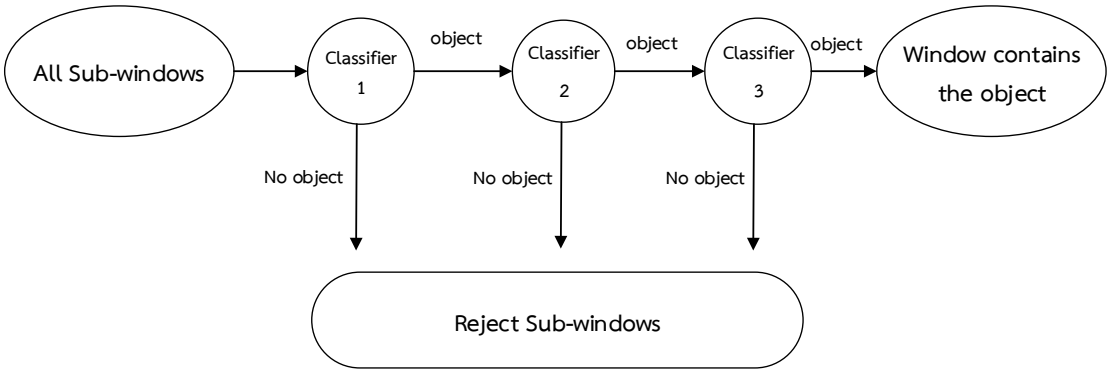
มุมขวาล่าง : ลวดลายกนก

2.3 การตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

การตรวจจับวัตถุคือ กระบวนการค้นหาวัตถุจากภาพหรือวิดีโอ และทำการประมวลผลภาพเพื่อให้สามารถตรวจจับและง่ายต่อการจำแนก ปัจจุบันรูปแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุมีหลักการเละเทคนิคหลายวิธี ซึ่งวิธีที่สามารถประมวลผลได้รวดเร็วและมีอัตราความถูกต้องในการตรวจจับสูง คือ เทคนิค Haar-like feature [16] คิดค้นโดย Paul Viola และ Michael J. Jones ในปี ค.ศ. 2001 หลักการพื้นฐานของเทคนิคดังกล่าว คือ การนำภาพที่ต้องการตรวจหาวัตถุมาแบ่งเป็นภาพย่อย ๆ แต่ละภาพจะถูกนำเข้าเป็นอินพุตของกระบวนการตรวจหาวัตถุ ด้วยแบบจำลอง Haar-like feature (แสดงดังรูปที่ 2-6) เป็นตัวตรวจจับ (Classifier) แสกนหาวัตถุบนภาพย่อยหลายๆรอบ ซึ่งในแต่ละรอบใช้ตัวตรวจจับที่มีขนาดแตกต่างกัน เมื่อภาพถูกตรวจจับและถูกจัดประเภทเป็นไม่ใช่วัตถุ (No Object) จะถูกปฏิเสธทันที ในทางตรงกันข้าม ถ้าภาพนั้นถูกจำแนกเป็นวัตถุ (Object) จะถูกส่งต่อไปยังตัวตรวจจับตัวถัดไปตามลำดับ และเมื่อจำนวนชั้นของตัวตรวจจับมากยิ่งขึ้น โอกาสตรวจพบวัตถุมีมากขึ้นตาม แสดงดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-6 แบบจำลอง Haar-like feature

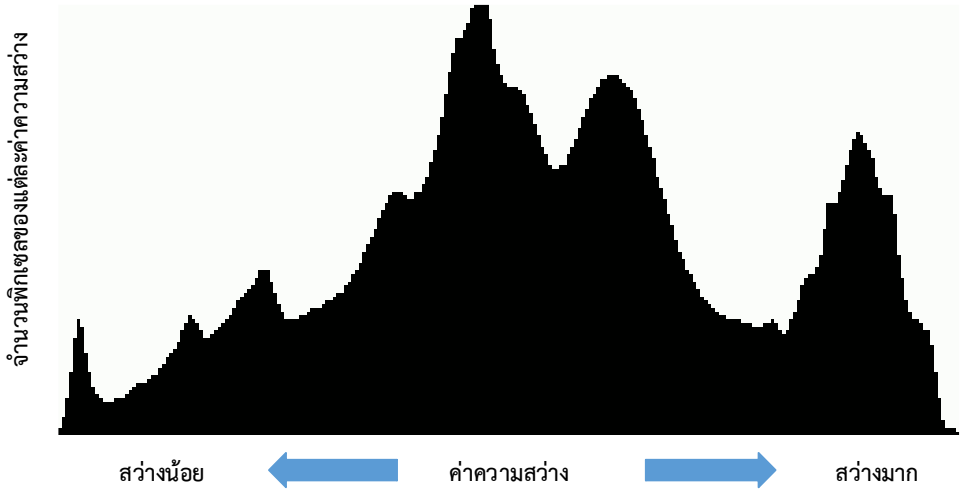


รูปที่ 2-7 กระบวนการตรวจจับวัตถุด้วย Haar-like feature

วิธีการตรวจจับวัตถุด้วยเทคนิค Haar-like feature เป็นเทคนิคที่นิยมเนื่องจากสามารถตรวจจับวัตถุด้วยความรวดเร็วและประมวลผลแบบเรียลไทม์ได้ [17][18][19][20] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการตรวจจับธนบัตรเพื่อให้ระบบประมวลผลเรียลไทม์ตอบสนองความสามารถการใช้งานของผู้ใช้แอพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.4 ฮิสโตแกรมสี (Color Histogram)

ฮิสโตแกรมสี คือ ลักษณะเฉพาะอธิบายการแจกแจงสีภายในภาพ แสดงเป็นกราฟแท่งความสัมพันธ์ของจำนวนพิกเซลที่กระจายอยู่ ณ ช่วงค่าความสว่างต่าง ๆ ของภาพด้วยระบบสี Red Green Blue (RGB) และภาพระดับสีเทา (Grey Scale Image) แกนตั้งคือ จำนวนพิกเซลของค่าความสว่าง แกนนอนคือ ค่าความสว่าง แบ่งระดับความสว่างออกเป็น 256 ตั้งแต่ 0 ถึง 255 ระดับสว่าง ด้านซ้ายมีค่าความสว่างน้อย และด้านขวามีค่าความสว่างมาก แสดงดังรูปที่ 2-8

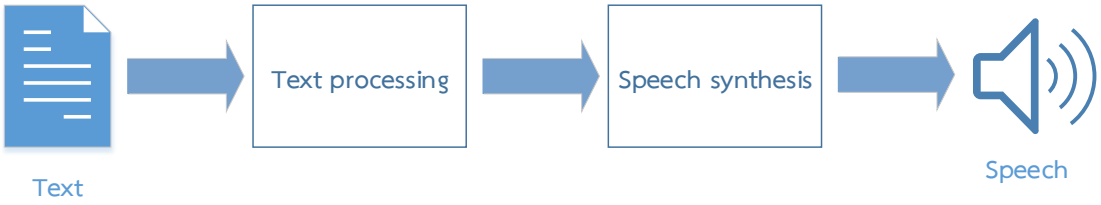


รูปที่ 2-8 ฮิสโตแกรมสีของรูปภาพ

ฮิสโตแกรมสีเป็นลักษณะเฉพาะทางที่นิยมนำมาใช้ในระบบการค้นคืนภาพเนื่องจากสามารถคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว [2] [19] งานวิจัยนี้ได้นำมาใช้คำนวณหาค่าฮิสโตแกรมสีภาพธนบัตรที่มีสีแตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบจำแนกประเภทธนบัตรแต่ละชนิด

2.5 ระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด (Text to Speech)

ระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด คือ กระบวนการแปลงข้อความตัวอักษร (Text) ให้เป็นเสียงพูด (Speech) โดยขั้นตอนแรกเป็นการประมวลผลข้อความ (Text Processing) เช่น การแบ่งคำ การแปลงคำศัพท์เป็นคำอ่าน การแบ่งวรรคตอน และ การจัดสรรความสูงต่ำสั้นยาวของเสียงตามรูปแบบประโยคในภาษา ขั้นตอนถัดมาเป็นการสังเคราะห์เสียงพูด (Speech Synthesis) จากสัญญาณดิจิตอลแปลงผลลัพธ์เป็นเสียงพูด แสดงดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 กระบวนการทำงานของระบบแปลงข้อความเป็นเสียงพูด

การนำเทคโนโลยีแปลงข้อความเอกสารเป็นเสียงพูดทำให้ผู้พิการทางสายตาสามารถเข้าถึงและใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ง่ายและสะดวกขึ้น ปัจจุบันซอฟท์แวร์แปลงข้อความเป็นเสียงพูดรองรับการใช้งานได้หลายภาษา สำหรับภาษาไทยผู้วิจัยได้สรุปการทดลองการใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบซอฟท์แวร์แปลงข้อความเป็นเสียงพูดภาษาไทย

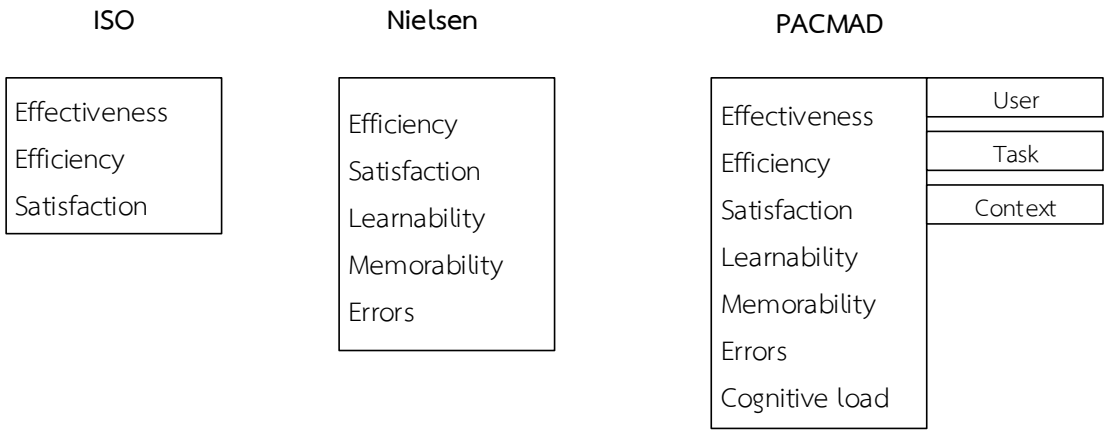
โปรแกรมสังเคราะห์เสียง	**จุดเด่น**	**จุดด้อย**	**ลิขสิทธิ์ซอฟท์แวร์**
VAJA	พัฒนาโดยคนไทย เสียงมีความเป็นธรรมชาติ รองรับ 2 ภาษา คือ ไทยและอังกฤษ	กรณีพูดประโยคที่มี 2 ภาษาอยู่ในประโยคเดียวจะออกเสียงไม่ค่อยราบรื่น	ทดลองใช้ 30 วัน
SVOX	รองรับหลายภาษา	ต้องติดตั้ง 2 แอปพลิเคชันในการใช้งาน คือ แอปพลิเคชันที่เป็น Engine และแอปพลิเคชันของแต่ละภาษา	ทดลองใช้ 14 วัน
Google TTS	รองรับหลายภาษา กรณีพูดประโยคที่มี 2 ภาษาอยู่ในประโยคเดียวทำได้ราบรื่นและเป็นธรรมชาติ	อ่านคำสะกดภาษาไทยไม่ได้	ใช้งานโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ด้วยเหตุผลในเรื่องค่าใช้จ่ายและลิขสิทธิ์ซอฟท์แวร์ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ Google TTS มาพัฒนาระบบในการแปลงข้อความเป็นเสียงพูดให้ผู้พิการทางสายตาจำแนกชนิดธนบัตรด้วยการฟังเสียงแทนการมองเห็น

2.6 ความสามารถในการใช้งาน (Usability)

ในความเป็นจริงความสามารถในการใช้งาน (Usability) ทำให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจและยอมรับการใช้งานระบบ วิธีนี้ช่วยป้องกันการหลีกเลี่ยงหรือต่อต้านการใช้งานระบบของผู้ใช้ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการใช้งานมักถูกมองข้ามในขั้นตอนการพัฒนาถึงแม้ว่าจะเป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญลำดับต้นที่จะทำให้ระบบประสพความสำเร็จก็ตาม การพัฒนาระบบที่มีความสามารถในการใช้งานมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎี Usability ซึ่ง ISO 92411-11:1998 ได้นิยาม “Usability” คือ ขอบเขตการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่บรรลุเป้าหมายด้วยประสิทธิผล ประสิทธิภาพและความพึงพอใจในบริบทของการใช้งานโดยผู้ใช้ [21] Neilsen, J. 2003 ได้ให้ความหมายของ “Usability” คือ ความสามารถในการใช้งานที่ประเมินส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ว่าสามารถใช้งานได้ง่ายเพียงใดและ Usability ยังหมายถึง วิธีในการปรับปรุงความสะดวกในการใช้งานในระหว่างกระบวนการออกแบบระบบ [22] งานวิจัยนี้ปรับใช้คำนิยามอันดับแรกในการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการใช้งานระบบรู้จำธนบัตรไทยบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา

แบบจำลองความสามารถในการใช้งาน (Usability Model) ถูกพัฒนามาเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบให้สอดคล้องกับแนวคิดดังกล่าว โดยนำไปใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการพิจารณาว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติหรือปัจจัยที่กำหนดไว้ได้ครบถ้วนเพียงใด ผู้วิจัยได้ศึกษา แบบจำลองที่เกี่ยวข้อง 3 รูปแบบ คือ แบบจำลองของ Neilsen แบบจำลองตามมาตรฐาน International Standard Organization: ISO) 92411-11:1998 และแบบจำลอง (People At the Centre of Mobile Application Development :PACMAD) โดยแบบจำลองของ Neilsen และแบบจำลอง มาตรฐาน ISO 92411-11:1998 นั้น ส่วนใหญ่ปัจจัยตัวชี้วัดถูกกำหนดขึ้นมาจากการพิจารณาที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานการใช้งานกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล การนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการวัดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังไม่ครอบคลุมเท่าที่ควร[10] แบบจำลอง PACMAD [11] สร้างมามีวัตถุประสงค์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยเฉพาะด้วยการรวมปัจจัยแบบจำลอง Neilson และ ISO เข้าไว้ด้วยกัน และเพิ่มเติมปัจจัย Cognitive Load เข้ามา ดังแสดงในรูปที่ 2-10 แบบจำลอง PACMAD มีรายละเอียดดังตารางที่ 2-2



รูปที่ 2-10 เปรียบเทียบแบบจำลองความสามารถการใช้งาน

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดปัจจัยตัวชี้วัดแบบจำลอง PACMAD

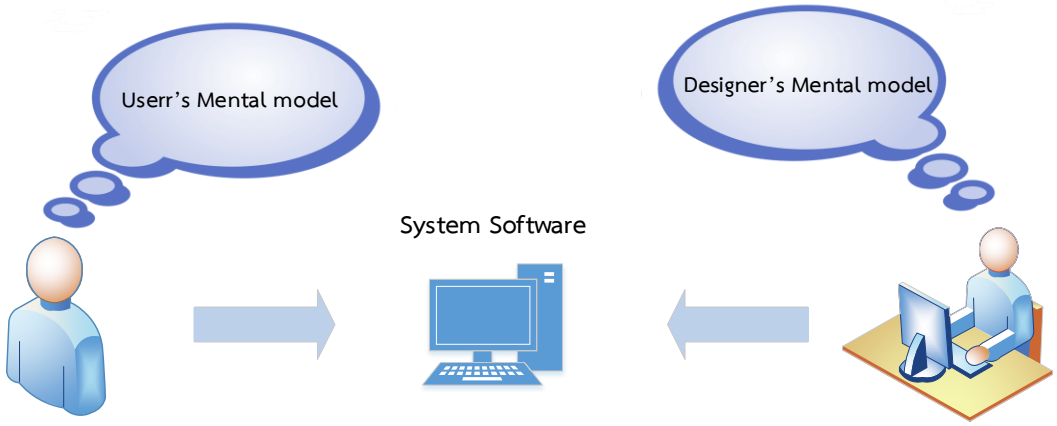
ตัวชี้วัด	รายละเอียด
ประสิทธิผลการใช้งาน (Effectiveness)	ความสามารถของผู้ใช้ที่สามารถทำงาน (Task) ให้เสร็จครบถ้วนสมบูรณ์ในแต่ละขั้นตอนรวมถึงความถูกต้องแม่นยำของระบบ คุณสมบัติข้อนี้จะวัดโดยการสังเกตผู้ใช้ว่าสามารถทำงานครบทุกกระบวนการหรือไม่ และวัดว่าระบบมีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด
ประสิทธิภาพการใช้งาน (Efficiency)	ความสามารถของผู้ใช้ในการทำงานให้เสร็จสิ้นได้อย่างรวดเร็วเพียงใด คุณสมบัติข้อนี้จะวัดเวลาในการทำงานให้เสร็จ วัดทรัพยากรที่ใช้ในการประมวลผลของระบบ เป็นต้น
ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction)	ระดับความพึงพอใจที่มีต่อการใช้งานระบบ คุณสมบัติข้อนี้จะวัดจากทัศนคติของผู้ใช้ที่มีต่อระบบ
การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability)	ความสามารถในการเรียนรู้การใช้งานระบบในครั้งแรกเมื่อใช้ คุณสมบัติข้อนี้จะวัดเวลาที่ผู้ใช้ทำงานให้เสร็จสมบูรณ์ในครั้งแรกของการใช้ระบบ
การจดจำการใช้งาน (Memorability)	ความสามารถในการจดจำการใช้งาน คุณสมบัติข้อนี้จะวัดโดยการสอบถามจากผู้ใช้โดยตรงใน

ตัวชี้วัด	รายละเอียด
	การทำงานแต่ละขั้นตอน ว่าสามารถจดจำได้มากน้อยเพียงใด
ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น (Errors)	ความสามารถในการทำงานให้เสร็จโดยไม่พบข้อผิดพลาดหรือเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด คุณสมบัติข้อนี้จะวัดจากจำนวนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้งานโดยผู้ใช้
ภาระโหลดของการใช้งาน (Cognitive Load)	ความสามารถในการใช้งานระบบในขณะทำงานอย่างอื่นร่วมด้วย คุณสมบัติข้อนี้จะวัดจากการเฝ้าสังเกตุผู้ใช้ว่าสามารถใช้งานระบบได้อย่างราบรื่นในขณะทำงานอื่นร่วมด้วยได้มากน้อยเพียงใด

แบบจำลอง PACMAD จะมี 7 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อพิจารณาวัดความสามารถการใช้งานตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งการวัดความสามารถของผู้ใช้ที่สามารถทำงานให้เสร็จครบถ้วนสมบูรณ์ในแต่ละบริบท มี 3 องค์ประกอบหลักได้แก่ ผู้ใช้งาน (User), งานที่ทำ (Task) และบริบทการใช้งาน (Context of Use)

2.7 แบบจำลองทางความคิด (Mental Model)

แบบจำลองทางความคิด คือ แนวความคิดที่ผู้ใช้สร้างภาพหรือจินตนาการขึ้นตามที่ผู้ใช้ได้มีปฏิสัมพันธ์กับระบบ โดยเป็นแบบจำลองหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในกับการออกแบบและพัฒนาระบบให้กับผู้ใช้ที่เป็นผู้พิการทางสายตา [23] [24] [25] ซึ่งผู้พัฒนาระบบเองก็จะมีแบบจำลองทางความคิดที่เกิดจากมุมมองระบบในฝั่งของนักพัฒนาเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 2-11 โดยทั้งสองส่วนนี้จะเป็นตัวกำหนดว่าผู้ใช้จะเข้าใจระบบและระบบจะมีประสิทธิภาพด้านการใช้งานได้ดีเพียงใด



รูปที่ 2-11 การออกแบบระบบที่มีการโต้ตอบกัน

การประยุกต์ใช้แบบจำลองความคิดของผู้ใช้ ผู้พัฒนาต้องทำการสื่อสารและทำความเข้าใจโดยการรวบรวมจากผู้ใช้โดยตรง เช่น การสำรวจผู้ใช้งานผ่านทางการสัมภาษณ์หรือแบบสอบถาม การจัดทำต้นแบบระบบ (Prototype) รวมไปถึงการพูดคุยกับผู้ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองทางความคิดมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบรูปแบบการใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อหารูปแบบการใช้งานที่ง่ายและเหมาะสมสำหรับผู้พิการทางสายตา

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบจำแนกและรู้จำธนบัตรผู้พิการทางสายตา

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับระบบรู้จำธนบัตรผู้พิการทางสายตาซึ่งถูกพัฒนาเป็นระบบและซอฟท์แวร์ ต่าง ๆ อย่างหลากหลาย แยกประเภทเป็นระบบหรืออุปกรณ์พกพา ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) และแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Application) งานวิจัย [1] [4] ผลิตอุปกรณ์พกพาจำแนกชนิดธนบัตรมาเลเซีย โดยใช้การตรวจจับสีที่แตกต่างกันและให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเสียงพูดและเป็นรหัสเสียง (Beep code) ในการบอกชนิด งานวิจัย [4] สร้างระบบพกพาในการจำแนกเงินไทยรูปแบบเหรียญและธนบัตร โดยเหรียญจะพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญและธนบัตรจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยสี RGB เป็นลักษณะเด่นในการจำแนก งานวิจัย [7] พัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการจำแนกธนบัตรบังคลาเทศ ซึ่งพัฒนาบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 8.1 โดยระบบจะถ่ายภาพจากกล้องเว็บแคม และนำภาพที่ได้มาประมวลผลด้วยเทคนิค Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) เพื่อระบุชนิดธนบัตร และให้ผลลัพธ์เป็นข้อความและเสียง งานวิจัย [6] พัฒนาระบบการจำแนกธนบัตรยูโร โดยระบบจะถ่ายภาพจากกล้องเว็บแคม และใช้ซอฟต์แวร์สไปเคิลเน็ต (Spikenet) ในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพธนบัตร ซึ่งระบบถูกพัฒนาบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และใช้งานด้วยอุปกรณ์ Ultra Mobile PC (UMPC) งานวิจัย [5] พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในการจำแนกธนบัตรสหรัฐอเมริกา โดยพิจารณาจาก 4 มุมบนภาพธนบัตรที่มีตัวเลขกำกับจำนวนเงินมาเป็นลักษะเด่นของธนบัตรและใช้อัลกอริทึมไอเกนเฟซ (Eigen Faces) ในการรู้จำเพื่อประมวลผลชนิดธนบัตร ซึ่งพัฒนา

ให้สามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการซิมเบียน (Symbian) งานวิจัย [2] พัฒนาแอปพลิเคชันจำแนกธนบัตรอียิปต์โดยใช้การเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีเป็นวิธีในการจำแนกชนิดและให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเสียงพูด งานวิจัย [8] พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับจำแนกธนบัตรอินเดีย โดยอาศัยการถ่ายภาพจากกล้องที่มีบนโทรศัพท์เคลื่อนที่แล้วนำภาพธนบัตรที่ได้มาประมวลผลโดยการแบ่งส่วนภาพพื้นหลังออกแล้วนำมาหาคุณลักษะเด่นด้วยวิธี Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) และ Speeded-Up Robust Features (SURF) และรู้จำด้วยอัลกอริทึม Bag of Words เพื่อระบุชนิดธนบัตรและให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเสียงพูด

จากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยดังกล่าว แสดงดังตารางที่ 2-3 และตารางที่ 2-4 พบว่า ยังมีปัญหาและช่องว่างงานวิจัย (ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 หัวข้อ 1.2) ในด้านการประมวลผลและการแสดงผลลัพธ์ ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาระบบรู้จำธนบัตรไทยบนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา โดยอาศัยเทคนิค Haar-like feature ตรวจจับภาพธนบัตร เปรียบเทียบค่าฮิสโตรแกรมสีเพื่อจำแนกชนิด และแปลงข้อความเป็นเสียงพูดบอกชนิดธนบัตร แสดงดังตารางที่ 2-5 เพื่อให้สามารถรองรับและตอบสนองความสามารถการใช้งานระบบบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้พิการทางสายตา มุ่งหวังสร้างต้นแบบแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยที่ใช้งานง่ายและสะดวก เพื่อให้สามารถรองรับและตอบสนองความสามารถการใช้งานของผู้พิการทางสายตา

ตารางที่ 2-3 งานวิจัยที่จำแนกด้วยคุณลักษณะทางสี

งานวิจัย	เทคนิควิธีการ	อุปกรณ์			การแสดงผล		
		Device	PC	Mobile	Beep	Screen	Speech
[1]	ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับสีเพื่อรับค่า RGB จากธนบัตรและอ่านออกเสียงโดยเซ็นเซอร์เสียง (พัฒนาบนบอร์ด Arduino UNO)	✓					✓
[2]	คำนวณและเปรียบเทียบค่าฮิสโตรแกรมสี โดยเทียบจากค่าความสัมพันธ์ของค่าฮิสโตรแกรมระหว่างชุดภาพธนบัตรตั้งต้นและภาพที่รับจากกล้อง			✓			✓

งานวิจัย	เทคนิควิธีการ	อุปกรณ์			การแสดงผล		
		Device	PC	Mobile	Beep	Screen	Speech
[3]	ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับสีในการระบุค่าธนบัตรแต่ละชนิดและให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นรหัสเสียง (Beep)	✓			✓		
[4]	จำแนกชนิดธนบัตรโดยวัดจากค่าเฉลี่ยสี RGB และใช้วิธีอัดเสียงพูดลงอุปกรณ์เพื่อบอกผลลัพธ์ชนิดธนบัตร	✓			✓		

ตารางที่ 2-4 งานวิจัยที่จำแนกด้วยอัลกอริทึมอื่น ๆ

งานวิจัย	เทคนิควิธีการ	อุปกรณ์			การแสดงผล		
		Device	PC	Mobile	Beep	Screen	Speech
[5]	ดึงบางส่วนที่สำคัญบนภาพธนบัตรมาเป็น feature เด่นและรู้จำด้วยอัลกอริทึม Egienface และ PCA			✓			✓
[6]	ใช้ซอฟท์แวร์สไปท์เลทมาช่วยในการประมวลผล		✓				✓
[7]	ใช้อัลกอริทึม ORB ในการดึงคุณลักษณะเด่นภาพธนบัตรที่ได้จากกล้องและเปรียบเทียบกับ		✓			✓	

งานวิจัย	เทคนิควิธีการ	อุปกรณ์			การแสดงผล		
		Device	PC	Mobile	Beep	Screen	Speech
	คุณลักษณะเด่นของภาพธนบัตรตั้งต้น						
[8]	ใช้อัลกอริทึม SIFT และ SURF ในการดึงลักษณะเด่นของภาพและรู้จำด้วยอัลกอริทึม Bag of Word			✓			✓

ตารางที่ 2-5 เทคนิคและวิธีการของงานวิจัยนี้

งานวิจัย	เทคนิควิธีการ	อุปกรณ์			การแสดงผล		
		Device	PC	Mobile	Beep	Screen	Speech
สุรีย์พร อังสุภานิช	อาศัยเทคนิค Haar-like feature ตรวจจับภาพธนบัตรและเปรียบเทียบค่าฮิสโตรแกรมสีกับภาพธนบัตรตั้งต้นเพื่อจำแนกชนิด และใช้เทคนิคแปลงข้อความเป็นเสียงพูดเพื่อบอกชนิดธนบัตร			✓			✓

2.8.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินผลด้านความสามารถในการใช้งาน (Usability) แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินผลด้านความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ แสดงในตารางที่ 2-5 พบว่า วิธีการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การทดสอบเชิงทดลอง (Experiment Study) และ การทดสอบภาคสนาม (Field Study) รายละเอียดและขั้นตอนการทดสอบและประเมินผลมีการกำหนดงานที่ต้องทำ (Task) [9][14] แบบสอบถาม (Questionnaire) [10][11][12] รวบรวมข้อมูลและเลือกปัจจัยตัวชี้วัดด้านความสามารถในการใช้งานเพื่อวัดและประเมินผล ผู้วิจัยสรุปและรวบรวมปัจจัยตัวชี้วัดที่นิยมนำไปวัดประเมินผลมี 3 ด้านดังนี้ คือ ด้านประสิทธิภาพ (Efficiency) ด้านความพึงพอใจ (Satisfaction) ด้านประสิทธิผล

(Effectiveness) [10][11][13][14] จากงานวิจัย [13][14] ได้กล่าวว่า การเลือกปัจจัยตัวชี้วัดด้านความสามารถในการใช้งาน ขึ้นอยู่กับลักษณะของแอปพลิเคชันและวัตถุประสงค์ที่ต้องการทดสอบ งานวิจัยนี้เลือก 3 ด้านที่กล่าวไว้ข้างต้น เนื่องจากเป็นปัจจัยพื้นฐานในการวัด ทั้งนี้เพื่อการวัดผลที่สอดคล้องกับแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรแบบเรียลไทม์และผลลัพธ์ออกมาเป็นเสียงพูดสำหรับผู้พิการทางสายตา ผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยตัวชี้วัดเพิ่มเติมคือ การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability), ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality), ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น (Errors) และภาระโหลดของการใช้งาน (Cognitive Load) ดังแสดงในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 งานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบและประเมินผลด้านความสามารถในการใช้งานของแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

งานวิจัย	ตัวชี้วัด/คุณสมบัติ	วิธีการประเมินผล
[9]	- การออกแบบเลย์เอาท์ (Design Layout) - การใช้งานง่าย (Ease of Use) - ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality) - การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability) - ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction) - การใช้งานในอนาคต (Future Use)	- กำหนดงาน (Task) ที่จะทำการทดสอบกับผู้ใช้ - ทดสอบโดยผู้ใช้ทำตามงาน - ประเมินผลด้วยตัวชี้วัดที่กำหนด
[10][11]	- ประสิทธิผลการใช้งาน (Effectiveness) - ประสิทธิภาพการใช้งาน (Efficiency) - ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction) - การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability) - การจดจำการใช้งาน (Memorability) - ข้อผิดพลาด (Errors) - ภาระโหลดการใช้งาน (Cognitive load)	- ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง - จัดทำแบบสอบถาม - ผู้ใช้งานทดสอบใช้งานระบบ - สัมภาษณ์ผู้ใช้ตามแบบสอบที่เตรียมไว้ - ประเมินตามตัวชี้วัดของแบบจำลองการใช้งาน PACMAD
[12]	- ง่ายต่อการเรียนรู้ (Ease of learning)	- จัดทำแบบสอบถาม - ผู้ใช้งานทดสอบใช้งานระบบ

งานวิจัย	ตัวชี้วัด/คุณสมบัติ	วิธีการประเมินผล
	- ประสิทธิภาพการใช้งาน (Efficiency of use) - ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction) - ผลสะท้อนกลับ (Feedback) - เอกสารการใช้งาน (Help and documentation) - การเข้าถึงการใช้งาน (Accessibility)	- สัมภาษณ์ผู้ใช้ตามแบบสอบที่เตรียมไว้ - ประเมินตามตัวชี้วัด
[13]	- ประสิทธิผลการใช้งาน (Effectiveness) - ประสิทธิภาพการใช้งาน (Efficiency) - ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction)	- เตรียมระบบที่ทดสอบ - ผู้ใช้ทดสอบใช้งานระบบ - เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์และสังเกตผู้ใช้ขณะใช้งาน - วิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้ - เลือกตัวชี้วัดความสามารถการใช้งานตามลักษณะของแอปพลิเคชันและวัตถุประสงค์ที่ทดสอบ
[14]	- การจดจำการใช้งาน (Memorability) - การจดจำการใช้งาน (Learnability) - ประสิทธิภาพการใช้งาน (Efficiency) - การจดจำการใช้งาน (Memorability) - ข้อผิดพลาด (Error) ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction) - ประสิทธิผลการใช้งาน (Effectiveness) - การใช้งานง่าย (Simplicity) - การอ่านง่าย (Readability)	- กำหนดวัตถุประสงค์และปัญหาที่จะทดสอบ - ทดสอบในห้องทดลองและภาคสนาม - เลือกตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับแอปพลิเคชันและวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

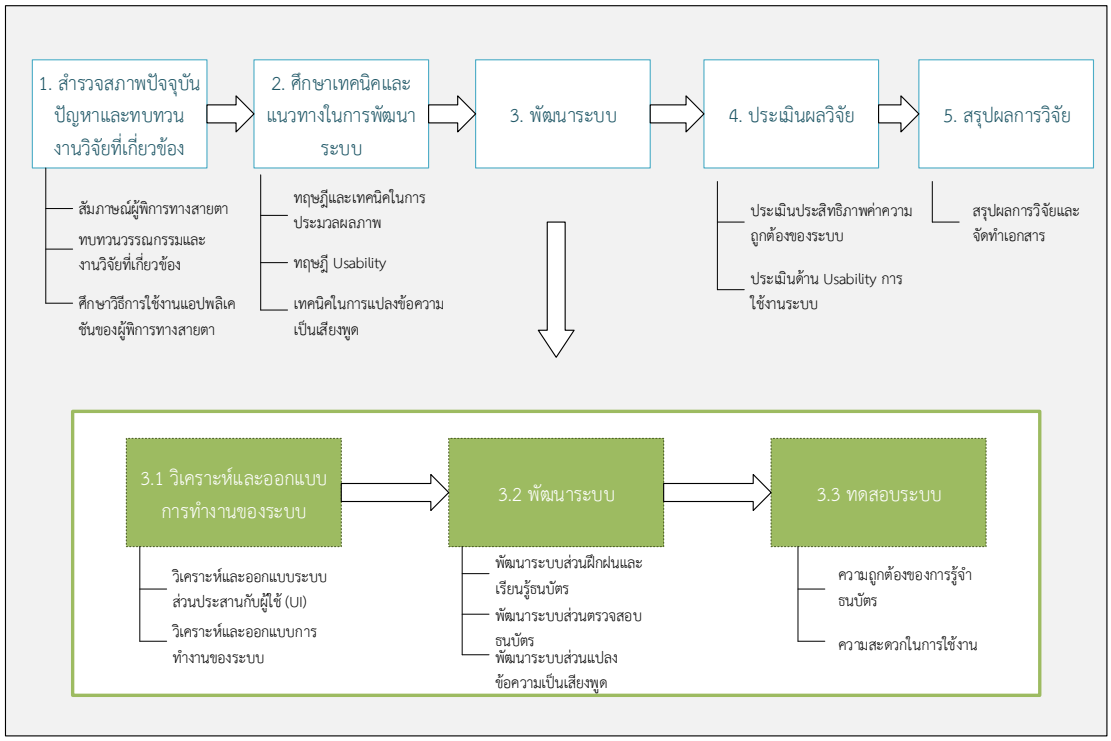
งานวิจัย	ตัวชี้วัด/คุณสมบัติ	วิธีการประเมินผล
	- ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ (Learning Performance)	

ตารางที่ 2-7 ตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินด้านความสามารถในการใช้งานของงานวิจัยนี้

ตัวชี้วัด	รายละเอียด	การประเมินผล
ประสิทธิผลการใช้งาน (Effectiveness)	ความสามารถของผู้ใช้ที่สามารถทำงาน (Task) ให้เสร็จครบถ้วนสมบูรณ์ในแต่ละขั้นตอน	วัดโดยดูว่าผู้ใช้ทำงานครบทุกกระบวนการของงานนั้น ๆ หรือไม่
ประสิทธิภาพการใช้งาน (Efficiency)	ความสามารถของผู้ใช้ในการทำงานงานหนึ่งให้เสร็จได้รวดเร็วและถูกต้องเพียงใด	วัดจากเวลาในการทำงานให้เสร็จในหนึ่งงาน
ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction)	ระดับความพึงพอใจที่มีต่อการใช้งานระบบ	วัดจากทัศนคติของผู้ใช้ที่มีต่อระบบ
การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability)	ความสามารถในการเรียนรู้การใช้งานระบบในครั้งแรกเมื่อใช้	วัดจากเวลาที่ผู้ใช้ทำงานให้เสร็จสมบูรณ์ในครั้งแรกของการใช้ระบบ
ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality)	ฟังก์ชันการใช้งานภายในระบบ	วัดโดยการสอบถามจากผู้ใช้ว่าฟังก์ชันของระบบมีการใช้งานง่ายหรือซับซ้อนมากน้อยเพียงใด
ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น (Errors)	ความสามารถในการทำงานให้เสร็จโดยไม่พบข้อผิดพลาดหรือเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด	คุณสมบัติข้อนี้จะวัดจากจำนวนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้งานโดยผู้ใช้
ภาระโหลดของการใช้งาน (Cognitive Load)	ความสามารถในการใช้งานระบบในขณะทำงานอย่างอื่นร่วมด้วย	วัดจากการเฝ้าสังเกตุผู้ใช้ว่าสามารถใช้งานระบบได้อย่างราบรื่นในขณะทำงานอื่นร่วมด้วยได้มากน้อยเพียงใด

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจสภาพปัจจุบัน ปัญหา ทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สำรวจสภาพปัจจุบันและปัญหาที่เกี่ยวกับการรับรู้ธนบัตรของผู้พิการทางสายตาด้วยวิธีการสัมภาษณ์ตัวแทนของผู้พิการทางสายตา เพื่อทราบว่าปัจจุบันการรับรู้ธนบัตรของผู้พิการทางสายตามีวิธีการใดบ้าง มีปัญหาหรืออุปสรรคในการใช้งานอย่างไร ทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและวิธีที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาในการรับรู้ธนบัตรของผู้พิการทางสายตา เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ซึ่งผลลัพธ์การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถดูรายละเอียดได้ในบทที่ 2 ส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และรายละเอียดผลลัพธ์ของการสัมภาษณ์ตัวแทนของผู้พิการทางสายตาจะอยู่ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1 ส่วนของการวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาเทคนิคและแนวทางในการพัฒนาระบบ ศึกษาและวิเคราะห์ทฤษฎีและเทคนิคเพื่อให้ได้แนวทางในการพัฒนาระบบและแนวทางในทดสอบและประเมินผล โดยผลลัพธ์จากการศึกษาสามารถดูรายละเอียดทฤษฎีและเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากบทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 3 พัฒนาระบบ วิเคราะห์และออกแบบตามแนวทางที่ได้ศึกษาและพัฒนาระบบ ซึ่งรายละเอียดกระบวนการพัฒนาระบบทั้งหมดจะกล่าวในบทที่ 3 ประกอบด้วย การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การพัฒนาระบบส่วนต่างๆ และแนวทางการทดสอบและประเมินผล (หัวข้อ 3.1 – 3.5 ของบทที่ 3)

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินผลวิจัย ทดสอบและประเมินผลลัพธ์ที่ได้ โดยแบ่งการประเมินผลออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินประสิทธิภาพค่าความถูกต้องของการรู้จำธนบัตร และประเมินด้านความสะดวกในการใช้งานระบบกับผู้ใช้ โดยส่วนนี้จะกล่าวในบทที่ 4 ประเมินผลวิจัย

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิจัย สรุปผลที่ได้ของงานวิจัยพร้อมทั้งนำเสนอปัญหาและข้อเสนอแนะที่พบจากงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์และออกแบบระบบ

การออกแบบระบบให้สามารถรองรับการใช้งานของผู้พิการทางสายตานั้น ต้องคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานเป็นหลัก เนื่องจากผู้ใช้ไม่สามารถสื่อสารหรือปฏิสัมพันธ์กับสิ่งรอบตัวด้วยการมองเห็นได้ ดังนั้น การวิเคราะห์และออกแบบระบบสำหรับผู้พิการทางสายตาจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการพัฒนาระบบ การวิเคราะห์และออกแบบระบบสำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำหลักการแบบจำลองทางความคิด (Mental Model) มาประยุกต์ใช้ในการทำความเข้าใจและรวบรวมความต้องการจากผู้ใช้มาออกแบบระบบเพื่อให้ได้ระบบที่มีความสะดวกและรองรับการใช้งานผู้พิการทางสายตา ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษาการปฏิสัมพันธ์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้พิการทางสายตา

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นครูและนักเรียนจากโรงเรียนสอนคนตาบอดธรรมสากลหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ทั้งหมดจำนวน 5 คน โดยวิธีการสังเกตและให้กลุ่มตัวอย่างบอกเล่าเกี่ยวกับประสบการณ์การใช้งานแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่ใช้งานบ่อยบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยสามารถสรุปข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับประสบการณ์การใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5
เพศ	ชาย	หญิง	หญิง	ชาย	หญิง
อายุ	37	31	16	17	16
ตำแหน่ง	ครู	ครู	นักเรียน	นักเรียน	นักเรียน
ประสบการณ์การใช้แอพพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่	SayText, LookTel, Barcode Reader, CamFind	Barcode Reader, CamFind, VoiceEye	SayText, Barcode Reader	Barcode Reader	Barcode Reader
ความบกพร่องทางการมองเห็น	บอดสนิท	บอดสนิท	บอดสนิท	บอดสนิท	บอดสนิท

จากตารางที่ 3-1 พบว่า แอปพลิเคชันที่กลุ่มตัวอย่างใช้งานทุกคนคือ Barcode Reader ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่ไว้ใช้สแกนบาร์โค้ด เมื่อสแกนแล้วแอปพลิเคชันจะแปลงข้อมูลภายในบาร์โค้ดเป็นเสียงพูดมายังผู้ใช้ ถัดมาคือแอปพลิเคชัน CamFind และ SayText ซึ่งทั้งสองแอปพลิเคชันเป็นแอปพลิเคชันไว้ใช้ถ่ายรูปข้อความหรือป้ายกำกับทางต่างๆ และอ่านออกมาเป็นเสียงพูดเช่นเดียวกัน จะเห็นได้ว่าแอปพลิเคชันที่กลุ่มตัวอย่างใช้งานจะมีองค์ประกอบของกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่และให้ผลลัพธ์เป็นเสียงพูดเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่ออำนวยความสะดวกในการปฏิสัมพันธ์และใช้งานของผู้พิการทางสายตา

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ ซึ่งวิธีการสัมภาษณ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) สัมภาษณ์เกี่ยวกับวิธีการจำแนกชนิดธนบัตร และ 2) สัมภาษณ์และให้กลุ่มตัวอย่างสาธิตวิธีการใช้งานแอปพลิเคชันที่มีกล้องเป็นองค์ประกอบ

สัมภาษณ์เกี่ยวกับวิธีการจำแนกชนิดธนบัตร

ผู้วิจัยสัมภาษณ์โดยการให้กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนอธิบายวิธีการจำแนกชนิดธนบัตร และตอบคำถามที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) คุณมีวิธีการอย่างไรบ้างในการจำแนกธนบัตรแต่ละชนิด?

2) คุณเคยใช้งานแอปพลิเคชันที่อ่านค่าธนบัตรหรือไม่? หากเคยใช้งานแอปพลิเคชันนั้นมีการใช้งานอย่างไร?

3) คุณมีทักษะหรือประสบการณ์ในการใช้งานกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร?

สัมภาษณ์และให้กลุ่มตัวอย่างสาธิตวิธีการใช้งานแอปพลิเคชันที่มีกล้องเป็นองค์ประกอบ

ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างที่เคยใช้งานแอปพลิเคชันที่มีกล้องเป็นองค์ประกอบ สาธิตวิธีการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3-2 หลังจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างตอบคำถามดังนี้

1) มีปัญหาการใช้งานแอปพลิเคชันที่ใช้กล้องเป็นองค์ประกอบหรือไม่ อย่างไร?

2) การถ่ายภาพด้วยกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่พบปัญหาหรือไม่ อย่างไร?

3) แอปพลิเคชันการจำแนกชนิดธนบัตรในความคิดของคุณเป็นอย่างไร?

4) ฟังก์ชันการใช้งานลักษณะใดในความคิดของคุณที่ควรมีและอยากให้มีบนแอปพลิเคชันการจำแนกชนิดธนบัตร?

รูปที่ 3-2 ผู้ใช้สาธิตวิธีการใช้งานแอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

3.1.3 วิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากขั้นตอนของการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยรวบรวมคำตอบและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่ได้จากการสังเกตและสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง มาวิเคราะห์เพื่อออกแบบต้นแบบแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับผู้พิการทางสายตา พบว่าวิธีการที่กลุ่มตัวอย่างใช้จำแนกชนิดธนบัตรในปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธี คือ

1) เปรียบเทียบกับขนาดธนบัตรที่มีอยู่ วิธีการคือ เก็บธนบัตรทุกชนิดไว้ในกระเป๋าสตางค์ เมื่อได้รับธนบัตรมาใหม่ก็หยิบธนบัตรในกระเป๋ามาเปรียบเทียบเพื่อจำแนกว่าธนบัตรที่รับมาใหม่เป็นธนบัตรชนิดใด

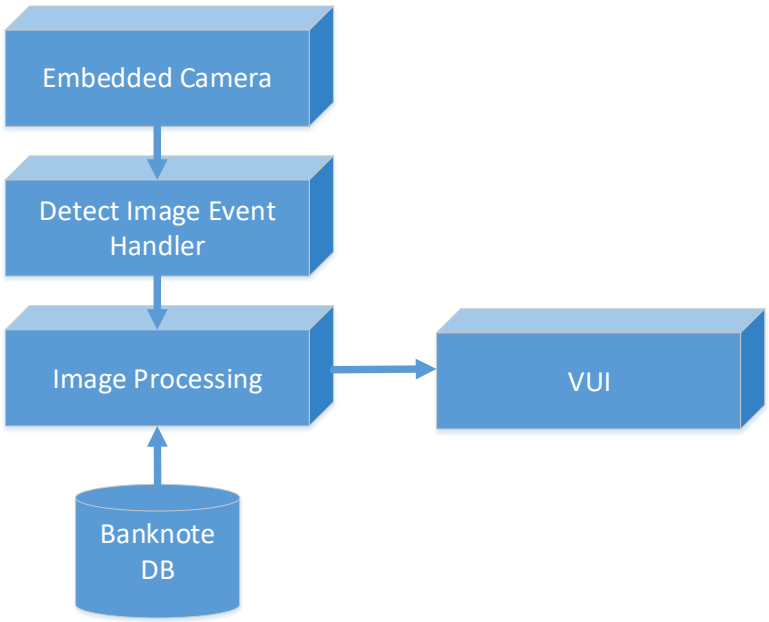
2) ใช้ทักษะความคุ้นเคยส่วนตัวในการสัมผัสธนบัตรเพื่อจำแนกธนบัตร

3) ไม้บรรทัดวัดขนาดธนบัตรสำหรับผู้พิการทางสายตา เป็นการวัดขนาดโดยสอดธนบัตรเข้าไปในไม้บรรทัด ดึงให้สุดและสัมผัสจุดอักษรเบรลล์ที่แถบบนไม้บรรทัดที่ขนาดดังกล่าว วิธีการนี้กลุ่มตัวอย่างกล่าวว่า เป็นวิธีการที่ให้ความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่น แต่ปัญหาคือ หาซื้ออุปกรณ์ชนิดนี้ได้ยากตามตลาดทั่วไป

และมีเพียง 1 คนจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นครู เคยทดลองใช้งานแอปพลิเคชันอ่านค่าธนบัตรชื่อ LookTel Money Reader ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่เสียค่าใช้จ่ายบนระบบปฏิบัติการ Ios โดยมีการเรียกใช้งานกล้องและอ่านค่าธนบัตรออกมาเป็นเสียงพูดแต่ไม่รองรับรับธนบัตรไทย

จากการสาธิตการใช้งานกล้องถ่ายรูปบนโทรศัพท์เคลื่อนที่พร้อมทั้งให้กลุ่มตัวอย่างอธิบายปัญหาการใช้งาน พบว่า ปัญหาหลักในการใช้กล้องถ่ายรูปคือ การจับภาพวัตถุ (Focus) โดยมีเพียงครู 1 คนที่มีทักษะการถ่ายภาพที่สมารถจับภาพออกมาได้ดี ส่วนที่เหลือภาพที่ได้ออกมาเบลอและไม่ตรงกับวัตถุที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นได้ว่า การจำแนกธนบัตรของกลุ่มตัวอย่างขึ้นอยู่กับประสบการณ์และทักษะของแต่ละบุคคล

ผู้วิจัยได้พิจารณาจากความแตกต่างและประสบการณ์ในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้และจากแบบจำลองทางความคิดของผู้ใช้ที่ได้จากการตอบคำถาม พบว่าผู้ใช้อยากให้มีฟังก์ชันการทำงานคล้ายกับแอปพลิเคชันสแกนบาร์โค้ด ที่เพียงแต่เปิดแอพพลิเคชันขึ้นมาแล้วส่องไปยังธนบัตรก็สามารถระบุชนิดธนบัตรได้ทันที ไม่ต้องการการทำงานฟังก์ชันที่ซับซ้อน และอยากให้รองรับผู้ใช้งานที่ไม่มีประสบการณ์ในการถ่ายภาพได้ด้วย จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ (Architecture Design) ไว้ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ

ต้นแบบของระบบถูกพัฒนาบนโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยมีสถาปัตยกรรมของระบบประกอบไปด้วยส่วนหลักดังนี้

1) กล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Embedded Camera) คืออุปกรณ์ในการบันทึกภาพธนบัตร

2) Event ตรวจจับภาพ (Detect Image Event) คือส่วนที่ใช้ตรวจจับภาพแต่ละเฟรมของกล้อง เพื่อนำมาประมวลผลในขั้นตอนถัดไป

3) การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ ส่วนที่นำภาพธนบัตรมาประมวลผลเพื่อรู้จำชนิดธนบัตรว่าเป็นธนบัตรชนิดใด โดยอาศัยเทคนิคการประมวลผลภาพเปรียบเทียบข้อมูลธนบัตรต้นแบบ (Banknote Dataset) ในการระบุชนิดธนบัตร

4) ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ด้วยเสียงพูด (Vocal User Interface) เพื่อการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับแอปพลิเคชัน โดยใช้ความสามารถของซอฟท์แวร์การแปลงข้อความเป็นเสียงพูด (Text To Speech engine) ในการอ่านค่าผลลัพธ์ของชนิดธนบัตร

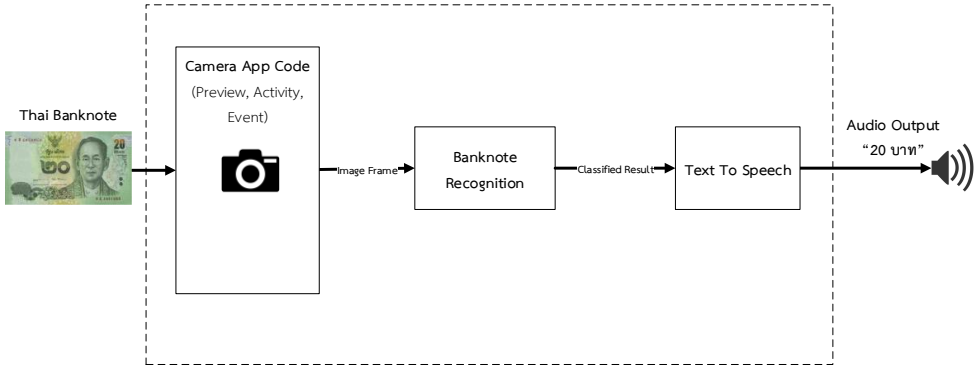
3.1.4 องค์ประกอบของระบบรู้จำธนบัตร

จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบข้างต้น ระบบรู้จำธนบัตรประกอบไปด้วยการทำงาน 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนการทำงานกับกล้อง, การรู้จำธนบัตร และการแปลงข้อความเป็นเสียงพูด ดังรูปที่ 3-4

1) การทำงานกับกล้อง เป็นส่วนเรียกใช้งานกล้องภายในโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมไปถึงการกำหนดค่าต่างๆและการทำงานของกล้อง เพื่อดึงภาพธนบัตรมาใช้ในการประมวลผลภาพต่อไป

2) การรู้จำธนบัตร (Banknote Recognition) คือ ส่วนของการนำภาพธนบัตรที่ได้จากกล้องมาประมวลผลเพื่อจำแนกชนิด โดยส่วนนี้เป็นการทำงานหลักของระบบ

3) การแปลงข้อความเป็นเสียงพูด คือ การแปลงข้อความผลลัพธ์ที่ได้จากการรู้จำชนิดธนบัตรเป็นเสียงพูด ซึ่งใช้ความสามารถของ Google Text To Speech Engine ในการแปลงข้อความเป็นเสียงพูดภาษาไทยไปยังผู้พิการทางสายตา



รูปที่ 3-4 องค์ประกอบหลักของระบบรู้จำธนบัตร

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

ในงานวิจัยนี้มีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.2.1 เครื่องมือ

1) Android Studio เวอร์ชัน 3.0 เป็นเครื่องมือพัฒนาหรือ IDE (Integrated Development Environment) ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการพัฒนาแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน โดยสามารถ Preview ตัวแอปพลิเคชันด้วยมุมมองที่แตกต่างกันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ล่ะรุ่นและสามารถแสดงผลบน Emulator ที่มีมาให้กับตัวเครื่องมือได้อีกด้วย

2) OpenCV for Android เวอร์ชัน 3.1.0 เป็นไลบรารีที่รวบรวมฟังก์ชันต่างๆ สำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ โดยเวอร์ชันแอนดรอยด์สามารถเรียกใช้งานฟังก์ชันด้วยภาษา JAVA อีกทั้งตัวไลบรารีสามารถพัฒนาได้ทั้งในระบบปฏิบัติการ Windows และระบบปฏิบัติการ Linux และประมวลผลภาพดิจิตอลได้ทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว

3) Opencv-haar-classifier- training-master เป็นเครื่องมือที่ใช้การฝึกฝนและเรียนรู้ข้อมูล (Training) ด้วยเทคนิค Haar-like feature เพื่อสร้างโมเดลวัตถุของภาพที่เราสนใจ โดยเครื่องมือได้จัดเตรียมสคริปท์สำหรับการทำงานมาให้ ทำให้เราไม่ต้องเสียเวลาในการเขียน code เองทั้งหมด ทำให้ขั้นตอนการ Training สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

4) Google TTS คือ เครื่องมือในการแปลงข้อความเป็นเสียงพูด ที่ถูกพัฒนาโดย Google ซึ่งรองรับหลายภาษารวมทั้งภาษาไทย

5) Image Tools คือ เครื่องมือในการประมวผลภาพเบื้องต้น เช่น การย่อ/ขยาย (Resize), การตัดส่วน (Crop), การแปลงภาพในรูปแบบต่างๆ โดยความสามารถเด่นคือ สามารถทำการประมวลแบบหลายภาพ (Multiple) คือ สามารถประมวผลหลาย ๆ ภาพในครั้งเดียว

3.2.2 อุปกรณ์

1) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันส่วนการตรวจสอบธนบัตรจะพัฒนาบนเครื่องคอมพิวเอตร์บนระบบปฏิบัติการ Windows โดยเครื่องคอมพิวเตอร์มีคุณสมบัติตามตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเอตร์ที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

Hardware	Specification
Processor	Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU 2.50GHz
Memory (RAM)	8 GB
Harddisk	500 GB
VGA Card	Intel® HD Graphics 620
Operating System	Microsoft Windows 10

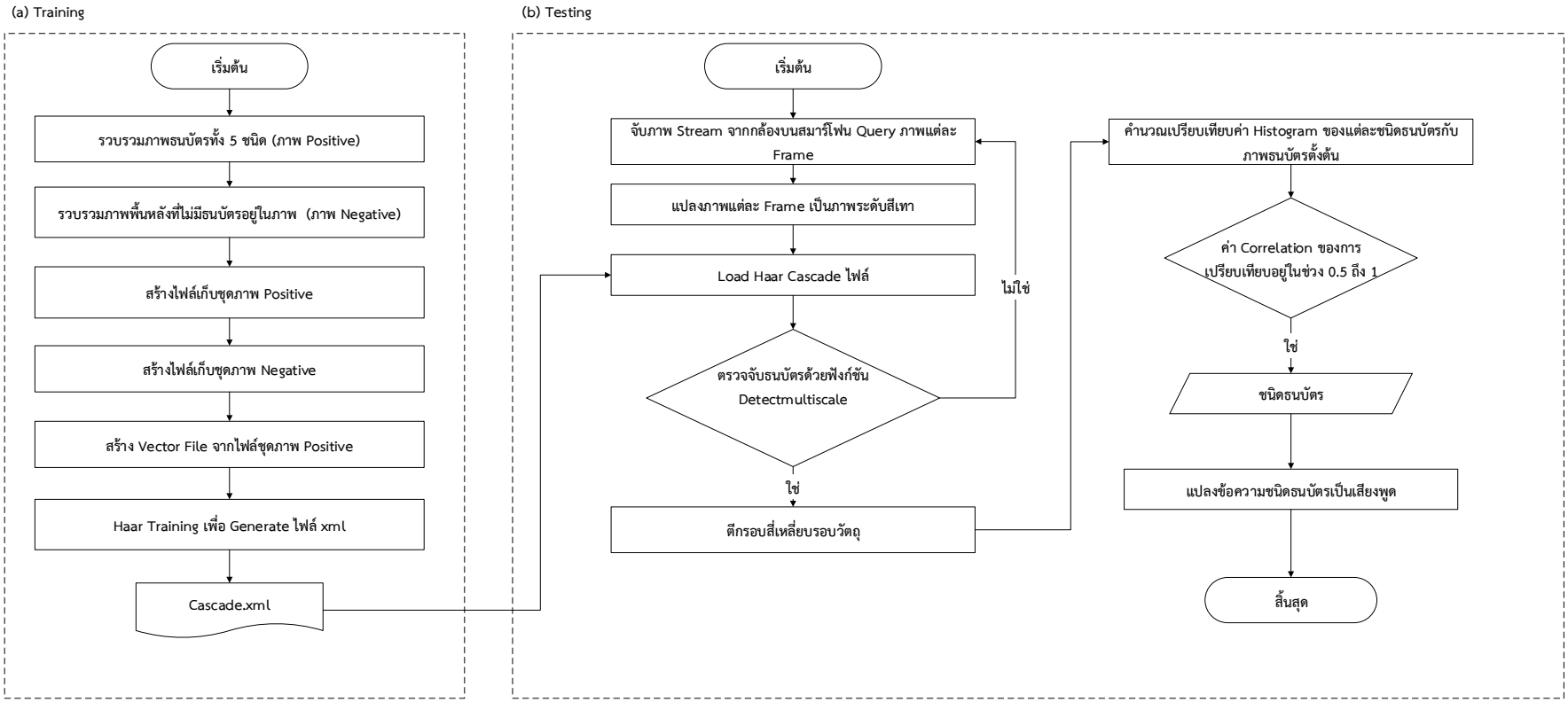
2) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้การฝึกฝนเรียนรู้ธนบัตร (Training) ส่วนกระบวนฝึกฝนเรียนรู้ตัวแบบธนบัตร จะพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Linux โดยในขั้นตอนนี้จะใช้ทรัพยากรเครื่องในการประมวลผลค่อนข้างมาก ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเอตร์ที่ใช้ในการฝึกฝนเรียนรู้ตัวแบบธนบัตร

Hardware	Specification
Processor	Intel Xeon(R) CPU X5660 @2.80GHz 16 core
Memory (RAM)	12 GB
Harddisk	100 GB
VGA Card	Gallium 0.4 on llvmpipe (LLVM 3.8, 128 bits)
Operating System	Linux Ubuntu 16.04 LTS

3.3 กระบวนการพัฒนาระบบ

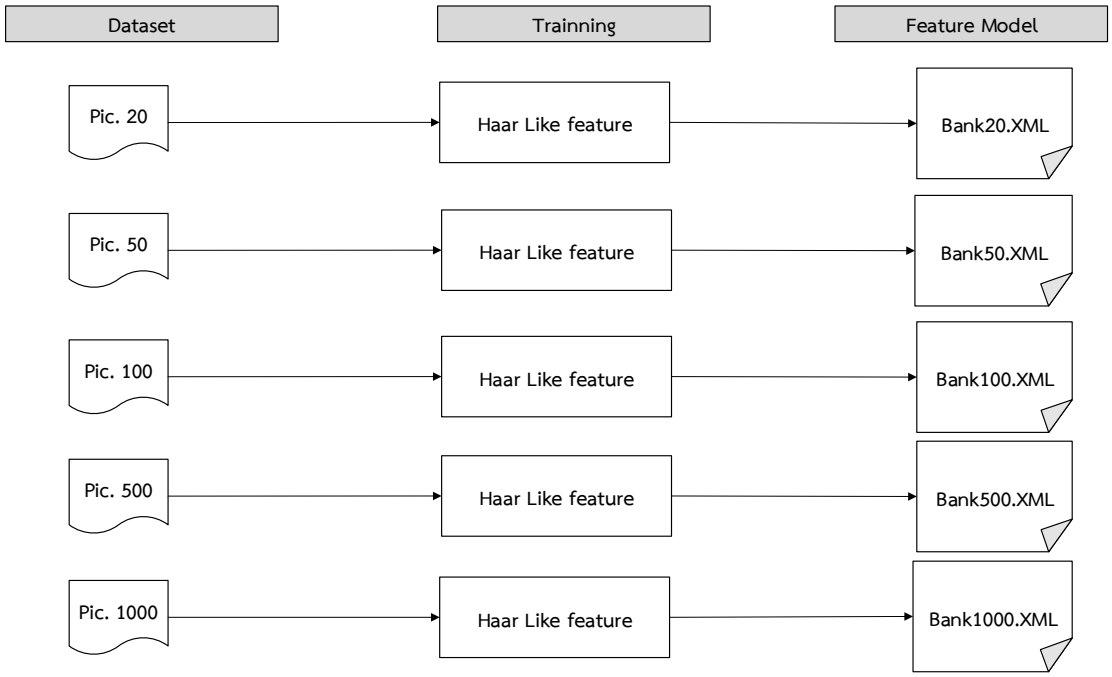
ในการพัฒนาระบบรู้จำธนบัตร ส่วนหลักที่สำคัญที่สุดคือ ส่วนของการประมวลผลภาพ โดยกระบวนการรู้จำธนบัตรประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) กระบวนการฝึกฝนเรียนรู้เพื่อสร้างตัวแบบธนบัตร (Training) และ 2) กระบวนการตรวจสอบภาพธนบัตร (Testing) โดยขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 กระบวนการรู้จำธนบัตร

3.3.1 กระบวนการฝึกฝนเรียนรู้เพื่อสร้างตัวแบบธนบัตร (Training)

ในกระบวนการฝึกฝนเรียนรู้ข้อมูล เป็นกระบวนการฝึกฝนเรียนรู้ภาพที่เราต้องการเพื่อสร้างตัวแบบหรือที่เรียกว่า โมเดล ของวัตถุภายในภาพนั้น ๆ ขึ้นมา เพื่อนำไปใช้เป็นโมเดลต้นแบบในกระบวนการตรวจสอบวัตถุต่อไป โดยในงานวิจัยนี้ ได้ทำการฝึกฝนเรียนรู้ข้อมูลภาพธนบัตรไทยเพื่อสร้างโมเดลภาพธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature เพื่อเป็นโมเดลต้นแบบในการตรวจสอบภาพธนบัตรของแอปพลิเคชัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการฝึกฝนเรียนรู้ข้อมูลชุดภาพธนบัตรจำนวน 5 ชนิด ซึ่งจากรูปที่ 3-6 Pic.20 แทนข้อมูลชุดภาพธนบัตรชนิด 20 บาท , Pic.50 แทนข้อมูลชุดภาพธนบัตรชนิด 50 บาท , Pic.100 แทนข้อมูลชุดภาพธนบัตรชนิด 100 บาท , Pic.500 แทนข้อมูลชุดภาพธนบัตรชนิด 500 บาท และ Pic.1000 แทนข้อมูลชุดภาพธนบัตรชนิด 1000 บาท มาผ่านกระบวนการฝึกฝนเรียนรู้ด้วยเทคนิค Haar-like feature เพื่อให้ได้โมเดลภาพธนบัตรแต่ละชนิดโดยข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบ xml ไฟล์



รูปที่ 3-6 อินพุตและเอาท์พุตที่ได้จากการฝึกฝนเรียนรู้ข้อมูลด้วย Haar-like feature

โดยกระบวนการฝึกฝนเรียนข้อมูลทั้งหมดของงานวิจัยนี้ทำบนระบบปฏิบัติการ Linux ที่ได้เตรียมทรัพยากรของเครื่องตามที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อ 3.2 และได้ติดตั้ง OpenCV เวอร์ชัน 3.1.0 พร้อมทั้งเครื่องมือ Opencv-haar-training-classifier ไว้ในเครื่องแล้ว ซึ่งขั้นตอนกระบวนการฝึกฝนเรียนรู้เพื่อสร้างตัวแบบธนบัตร มีขั้นตอนดังรูปที่ 3-5 (a) มีรายละเอียดของขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บรวบรวมภาพธนบัตรทั้ง 5 ชนิด (ภาพ Positive) เป็นขั้นตอนเก็บรวบรวมและปรับเตรียมภาพธนบัตร โดยงานวิจัยนี้ใช้ภาพธนบัตร 500 ภาพต่อ 1 ชนิด โดยรายละเอียดของขั้นตอนมีดังนี้

1) พิจารณาสีของธนบัตรเพื่อเลือกใช้ฉากหลัง โดยใช้ฉากกหลังสีขาวในการถ่ายภาพธนบัตร

2) ใช้กล้องดิจิตอลถ่ายภาพธนบัตร ประกอบด้วยธนบัตรชนิด 20 บาท, 50 บาท, 100 บาท, 500 บาท และ 1000 บาท โดยธนบัตรมีทั้งธนบัตรใหม่และผ่านการใช้งานมาแล้ว

3) ถ่ายภาพโดยกำหนดระยะห่างระหว่างกล้องกับธนบัตรให้มีระยะคงที่เท่ากัน และปรับค่าความเร็วชัตเตอร์ในการถ่ายภาพแต่ละภาพให้มีค่าแตกต่างกัน โดยความเร็วชัตเตอร์อยู่ในช่วง 20 - 100 เพื่อให้ได้ภาพที่มีแสงสว่างที่หลากหลาย

4) ตัดส่วนภาพวัตถุ (Crop) ออกจากภาพพื้นหลังให้เหลือเฉพาะภาพธนบัตรและปรับขนาดของภาพไว้ที่ 50 x 100 พิกเซล โดยใช้เครื่องมือ Image Tools ในการจัดการ

5) ปรับรูปแบบภาพให้อยู่ในรูปแบบภาพระดับสีเทาเพื่อเตรียมสำหรับขั้นตอนต่อไป แสดงดังรูปที่ 3-7

รูปที่ 3-7 ตัวอย่างภาพธนบัตรที่ผ่านการปรับเตรียมเพื่อใช้ในขั้นตอน Training

ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมภาพพื้นหลังที่ไม่มีธนบัตรอยู่ในภาพ (ภาพ Negative)

ภาพ Negative ผู้วิจัยดาวน์โหลดภาพจากแหล่งข้อมูล https://code.google.com/archive/p/tutorial-haartraining/source ซึ่งเป็นภาพพื้นหลังที่ไม่มีธนบัตรอยู่ในภาพ ได้แก่ ภาพตึกอาคาร ภาพภายในห้องทำงาน ภาพโถงทางเดิน ภาพเอกสาร ป้ายกำกับต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นภาพที่ผ่านการแปลงเป็นภาพระดับสีเทาแล้วจำนวน 1500 ภาพ นำมาปรับขนาดของภาพไว้ที่ 50 x 100 พิกเซล ให้เท่ากับภาพ Positive

ขั้นตอนที่ 3 สร้างไฟล์เก็บชุดภาพ Positive เพิ่มลิสต์รายชื่อไฟล์ภาพธนบัตรลงไฟล์ positive.txt ในโฟลเดอร์ positive_images โดยใช้คำสั่ง

```
find ./positive_images -iname "*.jpg" > positives.txt
```

ขั้นตอนที่ 4 สร้างไฟล์เก็บชุดภาพ Negative เพิ่มลิสต์รายชื่อไฟล์ภาพ Negative ที่เตรียมไว้ลงไฟล์ negative.txt ในโฟลเดอร์ negative_images โดยใช้คำสั่ง

```
find ./negative_images -iname "*.jpg" > negatives.txt
```

ขั้นตอนที่ 5 สร้างไฟล์ Vector จากไฟล์ชุดภาพ Positive ขั้นตอนนี้จะทำการสร้างไฟล์เวกเตอร์ สำหรับภาพธนบัตร (ภาพ Positive) 1 รูป เทียบกับพื้นหลังที่ไม่มีภาพธนบัตรทุกรูป (ภาพ Negative) และจะได้ไฟล์นามสกุล vec ขึ้นมา 1 ไฟล์ โดยใช้คำสั่ง

```
perl bin/createsamples.pl positives.txt negatives.txt samples 1500
"opencv_createsamples -bgcolor 0 -bgthresh 0 -maxxangle 1.1 -
maxyangle 1.1 maxzangle 0.5 -maxidev 40 -w 100 -h 50"
```

เมื่อ

- bgcolor คือ การตั้งค่าสีของรูป Negative กับรูป Positive ค่าปกติเป็น 0 ซึ่งคือภาพระดับสีเทา

- bgthresh คือ ค่าที่ทำงานร่วมกับ bgcolor โดยพิกเซลที่มีสีอยู่ระหว่าง bgcolor +/- bgthresh จะถูกทำให้โปร่งใส (transparent) ซึ่งค่าปกติเป็น 0

- maxangle คือ มุมการหมุนในหน่วยเรเดียน

- maxidev คือ ค่าความเบี่ยงเบนของความหนาแน่นสูงสุดของรูป Positive

- w, -h คือ การกำหนดขนาด output ในหน่วยของ pixels

จากคำสั่งคือ ใช้ไฟล์ positive.txt สำหรับภาพธนบัตร และ negative.txt สำหรับภาพพื้นหลังที่ไม่มีธนบัตร เก็บไฟล์เวกเตอร์ ไว้ในโฟลเดอร์ samples ซึ่งหลังจากใช้คำสั่งรันแล้ว ในโฟลเดอร์ samples จะได้ไฟล์นามสกุล .vec จำนวน 1500 รูป หลังจากนั้นใช้คำสั่งรัน script ไฟล์ mergevec.py เพื่อรวมไฟล์ vec ในโฟลเดอร์ที่ได้สร้างไว้ ให้เป็นไฟล์เดียวด้วยคำสั่ง

```
python ./tools/mergevec.py -v samples/ -o samples.vec
```

ขั้นตอนที่ 6 Haar Training เพื่อสร้างไฟล์ xml เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการ โดยการนำไฟล์เวกเตอร์ของภาพธนบัตร กับไฟล์ชุดข้อมูลภาพพื้นหลังที่ไม่มีธนบัตร ไปทำการสอนเพื่อให้ได้โมเดลธนบัตรอยู่ในรูปแบบ xml ไฟล์ โดยเรียกใช้งานฟังก์ชัน opencv_traincascade ด้วยคำสั่ง

```
/usr/bin/opencv_traincascade -data classifier -vec samples.vec -bg
negatives.txt -numStages 12 -minHitRate 0.950 -
maxFalseAlarmRate 0.5 -numPos 500 -numNeg 1500 -w 100 -h 50
-mode ALL -precalcValBufSize 1024 -precalcIdxBufSize 1024
```

โดย

- data ระบุแหล่งเก็บไฟล์ xml

- vec ระบุชื่อไฟล์เวกเตอร์เป็น samples.vec

- bg ระบุไฟล์ที่เก็บลิสต์รายชื่อไฟล์ภาพพื้นหลัง negative.txt

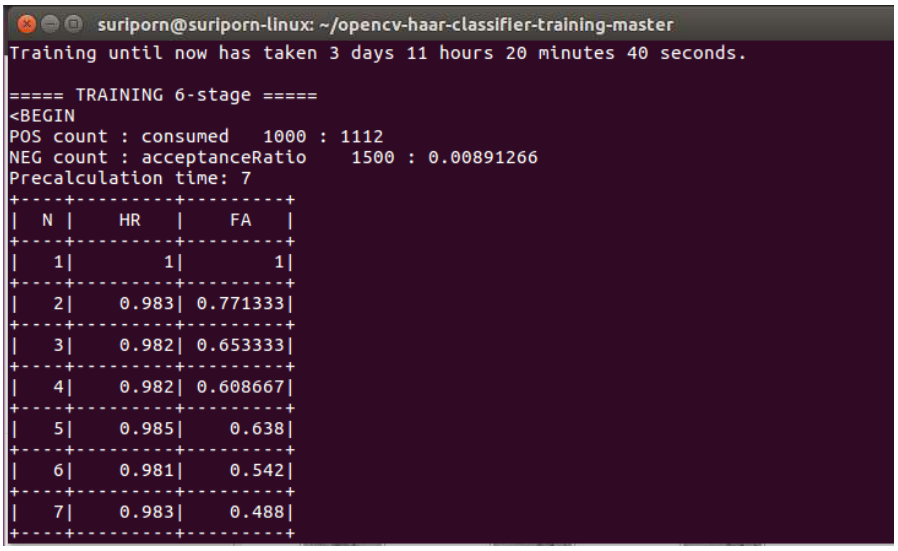
- numPos จำนวนรูปของวัตถุ

- numNeg จำนวนของรูปภาพพื้นหลังที่ไม่มีวัตถุ

- numStage ระดับ Stage ในการคำนวณ

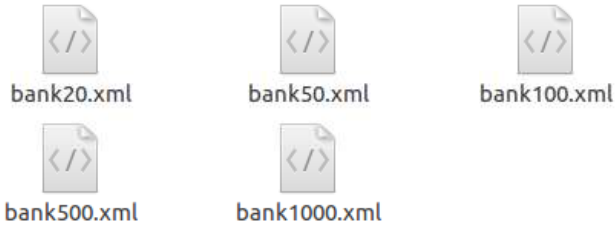
- w - h ขนาดภาพที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งเท่ากับขนาดเดียวกันที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างเวกเตอร์ไฟล์

- precalcValBufSize และ -precalcIdxBufSize กำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วไม่ควรมากกว่าจำนวน RAM ที่มีเหลือให้ใช้



รูปที่ 3-8 ผลลัพธ์ที่แสดงในระหว่างการฝึกฝนเรียนรู้

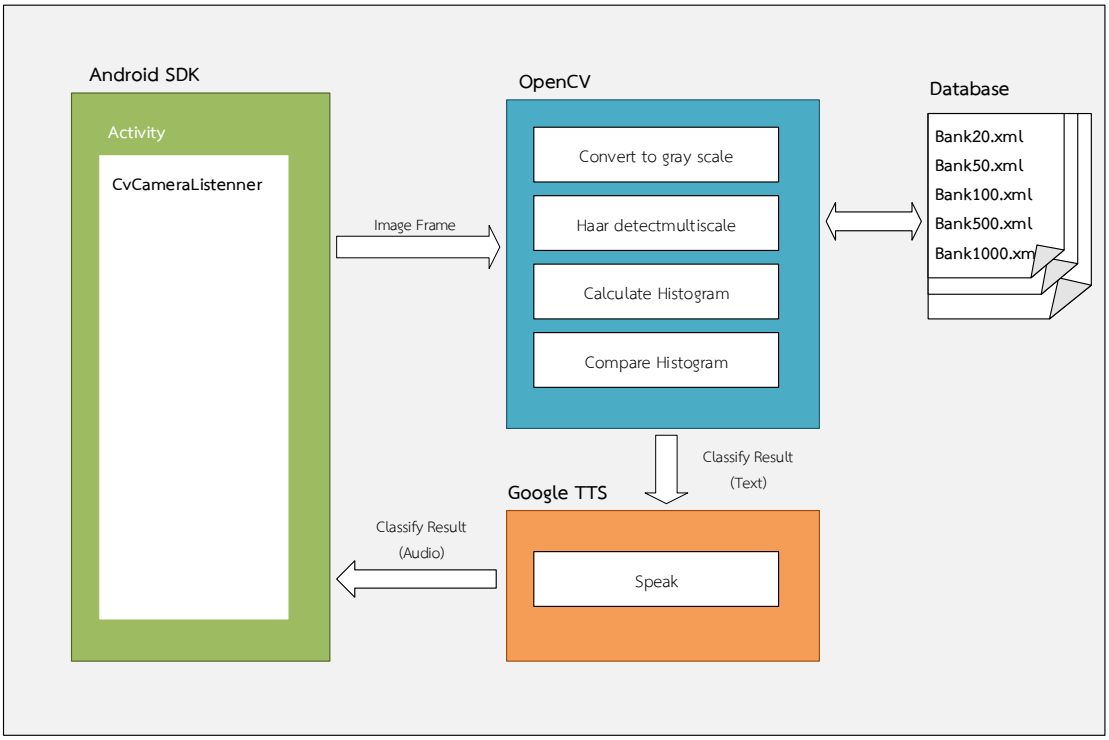
จากรูปที่ 3-8 แสดงผลลัพธ์ที่ได้ระหว่างการฝึกฝนเรียนรู้ ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนานขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลและทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการฝึกฝนเรียนรู้ 1 ชนิด 1 ไฟล์ ใช้เวลา 1 วันเต็ม เมื่อระบบทำการฝึกฝนเรียนรู้เสร็จเรียบร้อยจะปรากฏไฟล์ cascade.xml ในโฟลเดอร์ Classifier เพื่อนำไปใช้งาน ผู้วิจัยได้เปลี่ยนชื่อไฟล์เป็นชื่อชนิดธนบัตรดังรูปที่ 3-9 ซึ่งไฟล์ xml เหล่านี้จะนำไปใช้กับกระบวนการตรวจสอบธนบัตรต่อไป



รูปที่ 3-9 ไฟล์ xml ที่ได้จากกระบวนการ Training ข้อมูลภาพธนบัตร

3.3.2 กระบวนการตรวจสอบภาพธนบัตร (Testing)

ในส่วนของกระบวนการตรวจสอบภาพธนบัตร ผู้วิจัยได้พัฒนาแอนดรอยด์แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยตรวจสอบภาพธนบัตรผ่านกล้องซึ่งจับภาพแต่ละเฟรมประมวลผลเพื่อระบุชนิดธนบัตรและอ่านค่าออกมาเป็นเสียงพูด ซึ่งแอปพลิเคชันมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 โครงสร้างของแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตร

โดยแต่ละส่วนประกอบอธิบายได้ดังนี้

1) Android Code คือ ส่วนควบคุมการทำงานของแอปพลิเคชัน ควบคุมการเรียกใช้งานกล้อง และรับอินพุตภาพเพื่อส่งต่อไปประมวลผล

2) OpenCV คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ประมวลผลภาพเพื่อจำแนกชนิดธนบัตร

3) Google TTS คือ ส่วนการเรียกใช้งานฟังก์ชันเพื่อแปลงข้อความชนิดธนบัตรเป็นเสียงพูด

4) Database คือ ฐานข้อมูลตัวแบบธนบัตรที่ได้จากกระบวนการฝึกฝนเรียนรู้มาแล้ว ซึ่งเก็บอยู่ในรูปแบบไฟล์ xml

และกระบวนการตรวจสอบภาพธนบัตรมีขั้นตอนดังรูปที่ 3-5 (b) แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรับภาพจากกล้อง ระบบรับภาพอินพุตโดยการจับภาพจากกล้องและดึงภาพแต่ละเฟรมมาประมวลผลแบบเรียลไทม์ ซึ่งทำให้ลดขั้นตอนการกดถ่ายภาพของผู้ใช้งานออกไป

ขั้นตอนที่ 2 แปลงภาพระบบสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา แปลงภาพระบบสี RGB เป็นภาพระดับสีเทาเพื่อให้เป็นภาพรูปแบบเดียวกันกับขั้นตอนฝึกฝนเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 3 โหลด Cascade ไฟล์เข้ามาในระบบเพื่อเตรียมตรวจสอบธนบัตร Cascade ไฟล์ คือไฟล์โมเดลธนบัตรที่ได้จากกระบวนการฝึกฝนเรียนรู้ ซึ่งมีจำนวน 5 ไฟล์ คือ bank20.xml,

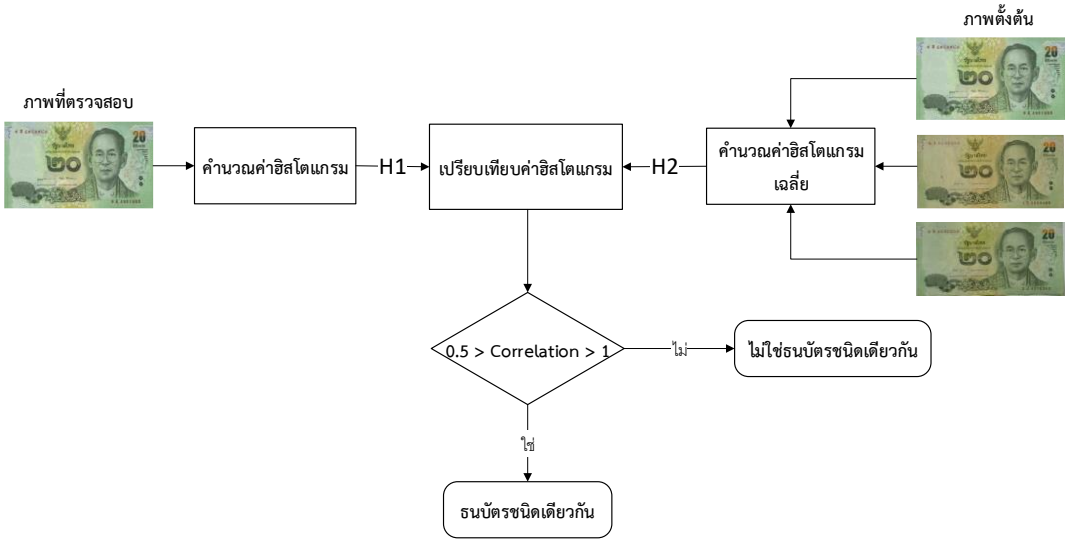
bank50.xml, bank100.xml, bank500.xml และ bank1000.xml ซึ่งภายในไฟล์จะเก็บคุณลักษณะเด่นหรือ Feature ของภาพธนบัตรไว้

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจจับภาพธนบัตรด้วยฟังก์ชัน detectmultiscale ซึ่งเป็นฟังก์ชันในการตรวจสอบภาพวัตถุกับ feature ในไฟล์ Cascade โดยในขั้นตอนนี้จะนำภาพที่ได้แปลงเป็นภาพระดับสีเทาแล้วมาตรวจสอบ feature กับโมเดลธนบัตรจากไฟล์ xml ของแต่ละชนิด หากตรวจพบ feature ที่ตรงกันจะทำการวาดกรอบสี่เหลี่ยมรอบธนบัตรในภาพที่ตรวจพบ

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณและเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสี หลังจากที่ตรวจพบธนบัตรแล้วแต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่ถูกต้องเท่าที่ควร เนื่องจากธนบัตรไทยมีลวดลายลักษณะที่คล้ายกัน แต่ลักษณะเด่นที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนคือสีธนบัตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีมาเพิ่มความถูกต้องในการจำแนกชนิดธนบัตรเพิ่มอีกหนึ่งขั้นตอน โดยนำภาพที่ตรวจจับได้ภายในกรอบสี่เหลี่ยมมาคำนวณค่าฮิสโตแกรมสีและเปรียบเทียบกับค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรตั้งต้นแต่ละชนิด ซึ่งทำการเปรียบเทียบโดยใช้ฟังก์ชัน comparehist ระหว่าง 2 ค่า ว่ามีความใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด โดยมีตัวชี้วัด (Metric) ในการเปรียบเทียบให้เลือก 4 ค่า คือ เปรียบเทียบค่า Correlation, ค่า Chi-Square, ค่า Intersection และค่าระยะห่าง Bhattacharyya โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ตัวชี้วัดค่า Correlation เนื่องจากเป็นตัวชี้วัดที่ให้ความถูกต้องและแม่นยำสูง ซึ่งการเปรียบเทียบด้วยค่า Correlation สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3-1 โดยผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 หากเข้าใกล้ 1 แสดงว่าภาพที่เปรียบเทียบกันนั้นมีฮิสโตแกรมสีใกล้เคียงกันมาก และหากค่าที่ได้เข้าใกล้ 0 แสดงว่าภาพที่เปรียบเทียบกันมีฮิสโตแกรมสีที่ใกล้เคียงกันน้อย

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H_1(I) - \bar{H_1})(H_2(I) - \bar{H_2})}{\sqrt{\sum_I (H_1(I) - \bar{H_1})^2 \sum_I (H_2(I) - \bar{H_2})^2}} \quad \textbf{(3-1)}$$

สำหรับงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี ระหว่างค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจจับได้กับค่าฮิสโตแกรมสีเฉลี่ยของภาพธนบัตรตั้งต้น โดยภาพธนบัตรตั้งต้นจะคำนวณค่าฮิสโตแกรมของภาพทั้งหมด 20 ภาพ/ชนิด ที่มีสภาพสีธนบัตรแตกต่างกันได้แก่ ธนบัตรใหม่และธนบัตรเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าฮิสโตแกรมสีของภาพตั้งต้น จากนั้นทำการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีระหว่าง 2 ค่า เพื่อดูค่าความสัมพันธ์ Correlation ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่าในการจำแนกชนิด (ค่า Threshhold) คือ หากค่า Correlation อยู่ในช่วง 0.5 - 1 ถือว่าฮิสโตแกรมสีภาพธนบัตรเป็นสีในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นจึงจำแนกชนิดธนบัตรตามค่าฮิสโตแกรมสีของภาพแต่ละชนิด โดยกำหนดให้เป็นข้อความ “20 บาท”, “50 บาท”, “100 บาท” และ “1000 บาท” หากไม่อยู่ในช่วงค่า Threshhold แสดงว่าธนบัตรไม่ใช่ชนิดเดียวกัน ซึ่งกระบวนการจำแนกชนิดธนบัตรมีขั้นตอนดังรูปที่ 3-11

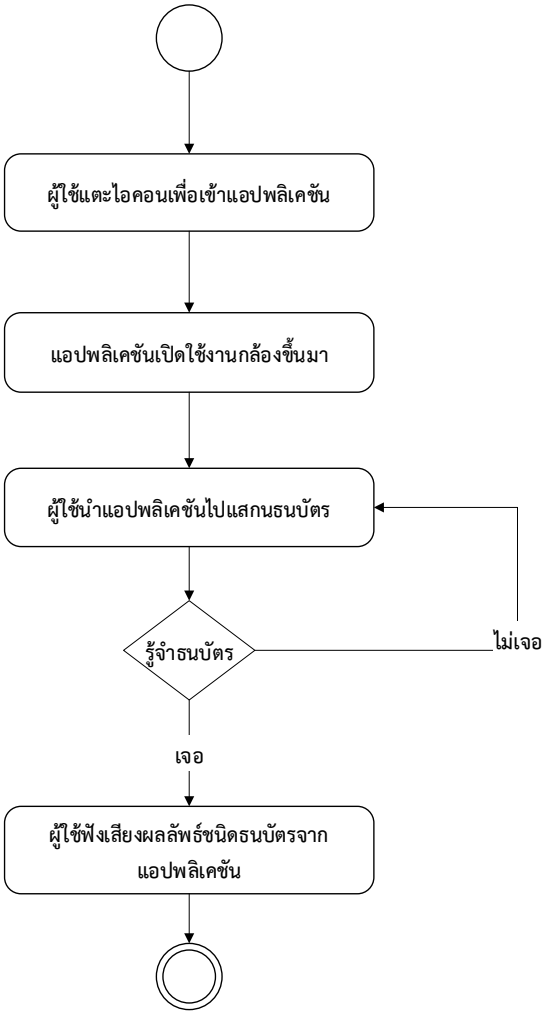


รูปที่ 3-11 ขั้นตอนการจำแนกชนิดธนบัตรด้วยการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

ขั้นตอนที่ 6 แปลงข้อความชนิดธนบัตรเป็นเสียงพูด เมื่อจำแนกชนิดธนบัตรได้แล้ว ก็จะนำข้อความชนิดธนบัตรที่ได้มาแปลงเป็นเสียงพูด โดยเรียกใช้งานฟังก์ชัน speak ของ Google TTS ให้อ่านชนิดธนบัตรออกมาเป็นเสียงพูดภาษาไทยไปยังผู้ใช้งาน

3.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ในส่วนของการทำงานของแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตร มีการทำงานลักษณะคล้ายกับแอปพลิเคชันอ่านบาร์โคด สามารถอธิบายการทำงานของแอปพลิเคชันด้วยแผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) ตามรูปที่ 3-12 โดยการทำงานเริ่มต้นจากผู้ใช้กดเข้าใช้งานแอปพลิเคชันผ่านการแตะไอคอนที่หน้าจอ หลังจากนั้นแอปพลิเคชันจะเรียกใช้งานกล้องขึ้นมาอัตโนมัติ ผู้ใช้สแกนธนบัตรในแนวนอน หากระบบสามารถรู้จำธนบัตรได้ จะให้เอาท์พุตออกมาเป็นเสียงพูด หากไม่ได้จะเข้าสู่การแสกนธนบัตรใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 3-12 แผนภาพกิจกรรมของระบบ

3.5 การทดลองและประเมินผล

การประเมินผลในงานวิจัยนี้จะทำการประเมิน 2 ส่วน คือ 1) ประเมินด้านความถูกต้องของการรู้จำธนบัตร และ 2) ประเมินด้านความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชันของผู้ใช้ (Usability)

3.5.1 การทดลองและประเมินความถูกต้องของการรู้จำธนบัตร

ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองเพื่อวัดความถูต้องของการรู้จำธนบัตรดังนี้

1) การทดลองวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

2) การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature

3) การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

โดยทดลองกับธนบัตรทั้ง 5 ชนิด รวมถึงธนบัตรสภาพเก่า ใหม่ ธนบัตรเลียนแบบ (ธนบัตรกาโม่) และวัตถุที่ไม่ใช่ธนบัตร เพื่อวัดความถูกต้องของการรู้จำ โดยมีเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 3-4 และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-4 สภาพแวดล้อมและเงื่อนไขในการทดสอบ

เงื่อนไขการทดสอบ	รายละเอียดการทดสอบ
แสงสว่างภายในห้อง	ทดสอบในห้องที่มีแสงสว่างเพียงพอ (ความสว่างระหว่าง 200 – 500 ลักซ์)
การวางธนบัตร	วางธนบัตรเต็มใบในแนวนอน ไม่พับธนบัตร
ระยะกล้อง	ห่างจากธนบัตรในระยะ 10-15 เซนติเมตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้ติดตั้งแอปพลิเคชันการรู้จำธนบัตรที่ได้พัฒนา ซึ่งมีทรัพยากรเครื่องตามตารางที่ 3-5

2) ธนบัตรไทย ชนิด 20 บาท, 50 บาท, 100 บาท, 500 บาท และ 1000 บาท

3) ธนบัตรเลียนแบบ ชนิด 20 บาท, 50 บาท, 100 บาท, 500 บาท และ 1000 บาท

4) กระดาษสีที่มีสีใกล้เคียงกับธนบัตรแต่ละชนิด

ตารางที่ 3-5 ทรัพยากรของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดสอบ

Hardware	Specification
Model	Alcatel Flash plus 2
Processor	Octa-core (4x1.8 GHz Cortex-A53 & 4x1.0 GHz Cortex-A53)
Memory (RAM)	2 GB
Camera	1.3 MP
Operating System	Android 6.0 Marshmallow

การประเมินผล

การประเมินประสิทธิผลด้านความถูกต้องของการรู้จำธนบัตร จะดูจากผลการทำนายของชนิดธนบัตร โดยนำผลการทดสอบที่ได้มาพิจารณาตามตาราง Confusion Metrix [26][27] ดังตารางที่ 3-6 ซึ่งตารางเมทริกซ์นี้เป็นการประเมินผลลัพธ์การทำนายกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง หลังจากนั้นนำค่าในตารางเมทริกซ์มาคำนวณหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความครบถ้วน (Recall) และค่าความถ่วงดุล (F-Meature) สามารถดูตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพดังกล่าวได้ตามตารางที่ 3-7 ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3-2, 3-3, 3-4 และ 3-5

ตารางที่ 3-6 Confusion Matrix

	Predicted Class	
Actual Class	Class = Yes	Class = No
Class = Yes	TP	TN
Class = No	FP	FN

$$\text{ค่าความแม่นยำ (Precision)} = \frac{TP}{TP+FP} \quad \textbf{(3-2)}$$

$$\text{ค่าความครบถ้วน (Recall)} = \frac{TP}{TP+FN} \quad \textbf{(3-3)}$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล (F-Measure)} = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precison + Recall} \quad \textbf{(3-4)}$$

$$\text{ค่าความถูกต้อง (Accuracy)} = \frac{\sum TP}{TP+TN+FP+FN} \quad \textbf{(3-5)}$$

เมื่อ

TP (True Positive) คือ จำนวนที่ทำนายตรงกับข้อมูลจริงในคลาสที่กำลังพิจารณา

TN (True Negative) คือ จำนวนที่ทำนายกับข้อมูลจริงในคลาสที่ไม่ได้กำลังพิจารณา

FP (False Positive) คือ จำนวนที่ทำนายผิดเป็นคลาสที่กำลังพิจารณา

FN (False Negative) คือ จำนวนที่ทำนายผิดเป็นคลาสที่ไม่ได้กำลังพิจารณา

ตารางที่ 3-7 ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพรู้จำธนบัตรชนิด 20 บาท

Confusion Metrix		ผลลัพธ์ที่ได้				
		20 บาท	**50 บาท**	**100 บาท**	**500 บาท**	**1000 บาท**
ชนิดธนบัตรที่ตรวจสอบ	**20 บาท**	18	2	0	0	0
	50 บาท	1	17	0	2	0
	100 บาท	0	0	16	1	3
	500 บาท	0	1	0	15	4
	1000 บาท	0	0	2	1	17

เมื่อพิจารณา ธนบัตรชนิด 20 บาท ตาม Confusion Matrix จะได้

ค่าความแม่นยำ (Precision) $= = \frac{18}{18+1+0+0+0}$ = 0.9473 = 94.73 %

ค่าความครบถ้วน (Recall) $= \frac{18}{18+2+0+0+0}$ = 0.9 = 90 %

ค่าความถ่วงดุล (F-Measure) $= \frac{2\times0.9473\times0.9}{0.9473+0.9}$ = 0.923 = 92.3 %

และค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของการรู้จำธนบัตรทั้งหมด $= \frac{18+17+16+15+17}{100}$ = 83 %

3.5.2 การทดสอบและประเมินความสามารถการใช้งานแอปพลิเคชันกับผู้ใช้ (Usability)

การทดสอบและประเมินผลด้านความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชัน ทำการประเมินโดยนำแอปพลิเคชันไปทดสอบใช้งานกับผู้พิการทางสายตาจำนวน 5 คน ที่มีประสบการณ์และทักษะในการใช้งานแอปพลิเคชันโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน โดยทดสอบใช้งานและตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยได้เตรียมไว้ และดำเนินการวัดผลความพึงพอใจจากการใช้แบบสอบถาม โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ และส่วนที่ 2 คำถามวัดความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันตามปัจจัยตัวชี้วัดความสามารถการใช้งานทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability), ประสิทธิภาพ (Efficiency), ประสิทธิผล (Effectiveness), ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality), ข้อผิดพลาด (Errors), ความพึงพอใจ (Satisfaction) และภาระโหลดการใช้งาน (Cognitive Load) โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้การวัดมาตราส่วนลิกเกิร์ต [28] (Likert scale) มาเป็นเกฑ์ในการวัดคะแนนจากแบบสอบถาม ซึ่งกำหนดรูปแบบออกเป็นระดับคะแนนความคิดเห็นของผู้ตอบ 5

ระดับ ตามตารางที่ 3-8 เกณฑ์การแปลความหมายของคะแนนที่ได้ตามตารางที่ 3-9 และตารางที่ 3-10 คือ ชุดแบบสอบถามเพื่อประเมินความสามารถในการใช้งาน

ตารางที่ 3-8 เกณฑ์การให้คะแนน

ระดับความพึงพอใจ	ระดับคะแนน
ดีมาก	5
ดี	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
น้อยมาก	1

ตารางที่ 3-9 เกณฑ์การแปลความหมายจากคะแนนที่ได้

ระดับความพึงพอใจ	ช่วงคะแนน
ดีมาก	4.21 – 5.00
ดี	3.41 – 4.20
ปานกลาง	2.61 – 3.40
น้อย	1.81 – 2.60
น้อยมาก	1.00 – 1.80

ตารางที่ 3-10 แบบสอบถามความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

รายการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ	ระดับความพึงพอใจ				
	ดีมาก	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยมาก
	5	4	3	2	1
1. การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability)					
1.1 ท่านสามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย					
1.2 ท่านสามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว					
1.3 ท่านคิดว่าเสียงพูดที่ใช้สื่อความหมายให้สามารถเข้าใจง่าย					
1.4 ท่านสามารถเข้าใจและใช้งานแอปพลิเคชันได้ตั้งแต่ครั้งแรกที่ใช้งาน					
2. ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality)					
2.1 ฟังก์ชันประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ช่วยให้การใช้งานสะดวกขึ้น					
2.2 ฟังก์ชันแสดงผลลัพธ์เป็นเสียงพูดสามารถสื่อสารเข้าใจได้ง่าย					
2.3 ฟังก์ชันการทำงานโดยรวมไม่ซับซ้อน ใช้งานง่าย					
2.4 ฟังก์ชันการทำงานมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน					
3. ข้อผิดพลาด (Errors)					
3.1 แอปพลิเคชันมีการจัดการกับข้อผิดพลาดได้อย่างเหมาะสม					
3.2 แอปพลิเคชันใช้งานได้อย่างราบรื่นโดยไม่มีข้อผิดพลาด					

รายการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ	ระดับความพึงพอใจ				
	ดีมาก	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยมาก
	5	4	3	2	1
4. ประสิทธิภาพ (Efficiency)					
4.1 แอปพลิเคชันสามารถระบุชนิดธนบัตรได้ในเวลาที่เหมาะสม					
4.2 แอปพลิเคชันสามารถอ่านออกเสียงภาษาไทยได้ถูกต้องชัดเจน					
5. ประสิทธิผล (Effectiveness)					
5.1 แอปพลิเคชันสามารถระบุชนิดธนบัตรได้ถูกต้อง					
5.2 ท่านสามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้สำเร็จลุล่วงด้วยตนเอง					
5.3 ท่านคิดว่าแอปพลิเคชันสามารถทำงานครบถ้วนสมบูรณ์					
6. ภาระโหลดการใช้งาน (Cognitive Load)					
6.1 ท่านสามารถใช้งานแอปพลิเคชันในขณะที่ทำงานอื่นพร้อมกันได้					
6.2 ท่านสามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้โดยไม่รู้สึกเพิ่มภาระ					
6.3 ขณะใช้แอปพลิเคชันท่านใช้ภาระโหลดการใช้งานของท่านน้อย					
7. ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction)					
7.1 ท่านมีความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยและปรารถนาจะแนะนำให้คนอื่นใช้งานด้วย					

รายการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ	ระดับความพึงพอใจ				
	ดีมาก	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยมาก
	5	4	3	2	1
7.2 ท่านคิดว่าแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยสามารถนำไปใช้งานในชีวิตประจำวันได้					
7.3 ท่านถูกใจแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยมากกว่าการจำแนกธนบัตรรูปแบบเดิม					
7.4 ท่านมีความพึงพอใจโดยรวมในการใช้งานแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทย					

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทนี้กล่าวถึง การทดลอง ผลการทดลองและการประเมินผลของระบบทั้งในด้านความถูกต้องในการรู้จำธนบัตรและความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาระบบ

4.1 การวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตร

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลอง แบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ 1) การทดลองวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี 2) การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และ 3) การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

4.1.1 การทดลองวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

การทดลองนี้ทำการวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตรโดยเปรียบเทียบค่าฮิสโตรแกรมสีเฉลี่ยของภาพตั้งต้นกับภาพที่ตรวจสอบ ซึ่งค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบคือ ค่า Correlation (ค่าตัวชี้วัดความใกล้เคียงกันของฮิสโตรแกรมสี) ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่า Threshold ในการจำแนก คือ หากค่า Correlation อยู่ในช่วง 0.5 – 1 แสดงว่า ภาพที่ตรวจสอบเป็นธนบัตรชนิดเดียวกับภาพตั้งต้นธนบัตรชนิดนั้น โดยภาพที่นำมาตรวจสอบคือภาพธนบัตรไทยแต่ละชนิด ภาพธนบัตรเลียนแบบ และกระดาษที่มีสีใกล้เคียงกับแต่ละชนิดธนบัตร ชนิดละ 20 ภาพ มาทดสอบ ตัวอย่างภาพแสดงดังรูปที่ 4-1

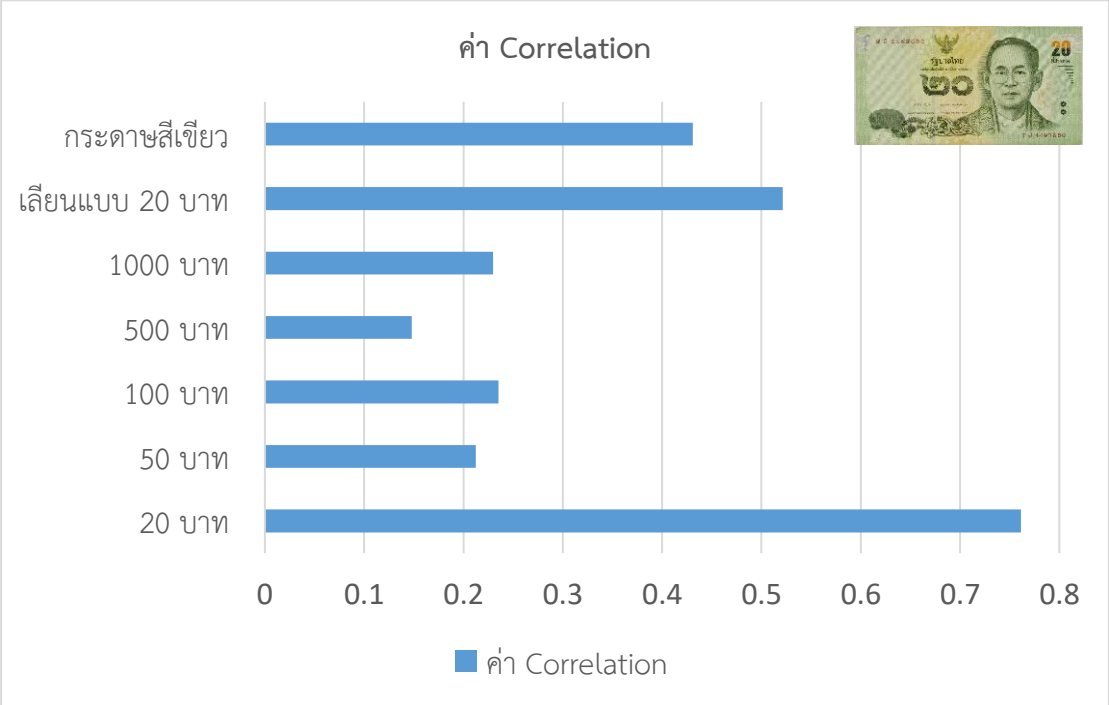
รูปที่ 4-1 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการทดลอง

ผลการทดลองธนบัตรชนิด 20 บาท

ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 20 บาท แสดงดังตารางที่ 4-1 รูปที่ 4-2 และผลการรู้จำธนบัตรชนิด 20 บาท แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 20 บาท

ภาพที่ตรวจสอบ	ค่า Correlation
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0.7612
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0.2125
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0.2354
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0.1478
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0.2298
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 20 บาท	0.5214
กระดาษสีเขียว	0.4308



รูปที่ 4-2 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 20 บาท

ตารางที่ 4-2 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 20 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 20 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	19
ธนบัตรชนิด 50 บาท	1
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 20 บาท	8
กระดาษสีเขียว	2

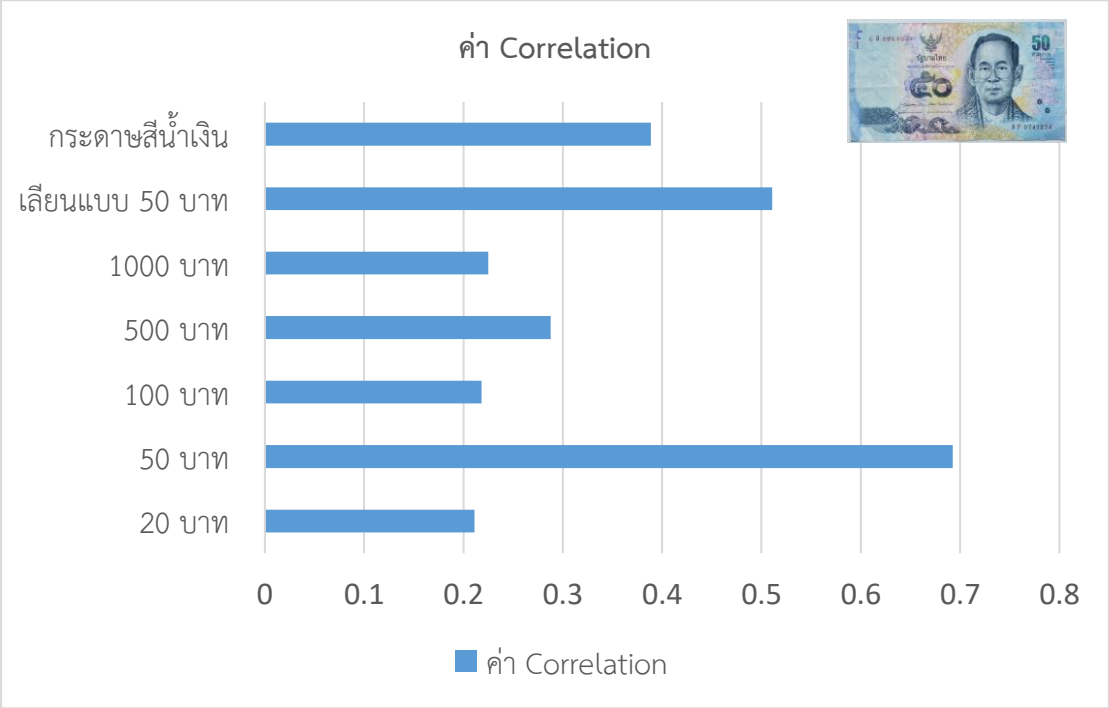
จากรูปที่ 4-2 แสดงผลการเปรียบเทียบภาพที่ตรวจสอบกับภาพตั้งต้นธนบัตรชนิด 20 บาท จะเห็นได้ว่า ธนบัตร 20 บาท ให้ค่า Correlation สูงสุดคือ 0.7612 และรองลงมาคือธนบัตรเลียนแบบชนิด 20 บาท อยู่ที่ 0.5214 และกระดาษสีเขียว 0.4308 ส่วนธนบัตรชนิดอื่นมีค่าเข้าใกล้ 0 เนื่องจากมีฮิสโตแกรมสีไม่ใกล้เคียงกับธนบัตร 20 บาท ซึ่งหากเทียบกับค่า Threshold ในการจำแนก พบว่า ธนบัตรเลียนแบบชนิด 20 บาท ระบบก็ระบุเป็น ธนบัตร 20 บาท เนื่องจากธนบัตรเลียนแบบมีสีของภาพใกล้เคียงกับธนบัตรชนิด 20 บาท และผลการรู้จำธนบัตรตามตารางที่ 4-2 พบว่า ระบบสามารถรู้จำธนบัตรชนิด 20 บาท ได้ถูกต้อง จำนวน 19 ครั้ง และรู้จำผิดพลาดจากธนบัตรหรือวัตถุอื่นเป็นธนบัตรชนิด 20 บาท ได้แก่ ธนบัตรเลียนแบบ จำนวน 8 ครั้ง กระดาษสีเขียว จำนวน 2 ครั้ง และธนบัตรชนิด 50 บาท จำนวน 1 ครั้ง

ผลการทดลองธนบัตรชนิด 50 บาท

ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 50 บาท แสดงดังตารางที่ 4-3 รูปที่ 4-3 และผลการรู้จำธนบัตรชนิด 50 บาท แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 50 บาท

ภาพที่ตรวจสอบ	ค่า Correlation
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0.2112
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0.6925
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0.2181
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0.2878
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0.2249
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 50 บาท	0.5107
กระดาษสีน้ำเงิน	0.3886



รูปที่ 4-3 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 50 บาท

ตารางที่ 4-4 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 50 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 50 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0
ธนบัตรชนิด 50 บาท	18
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0
ธนบัตรชนิด 500 บาท	2
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 50 บาท	9
กระดาษสีน้ำเงิน	4

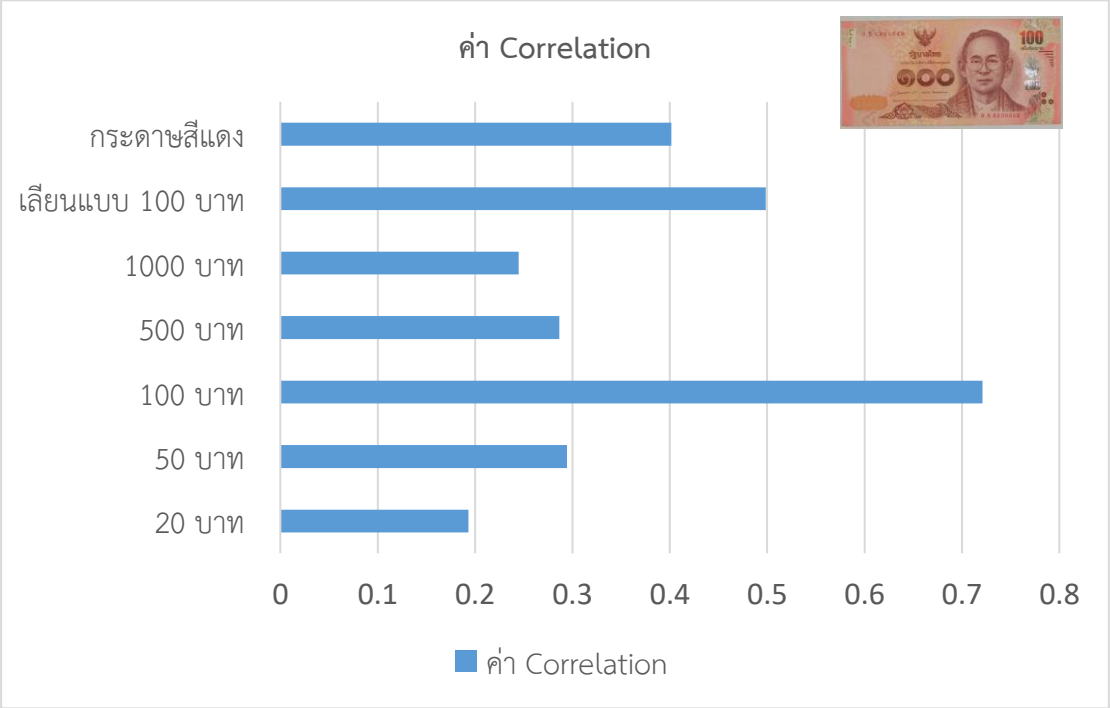
จากรูปที่ 4-3 แสดงผลการเปรียบเทียบภาพที่ตรวจสอบกับภาพตั้งต้นธนบัตรชนิด 50 บาท จะเห็นได้ว่า ธนบัตร 50 บาท ให้ค่า Correlation สูงสุดคือ 0.6925 และรองลงมาคือธนบัตรเลียนแบบชนิด 50 บาท อยู่ที่ 0.5127 และกระดาษสีน้ำเงิน 0.3886 ส่วนธนบัตรชนิดอื่นมีค่าเข้าใกล้ 0 เนื่องจากมีฮิสโตแกรมสีไม่ใกล้เคียงกับธนบัตร 50 บาท ซึ่งหากเทียบกับค่า Threshold ในการจำแนก พบว่า ธนบัตรเลียนแบบชนิด 50 บาท ระบบก็ระบุเป็น ธนบัตร 50 บาท เนื่องจากธนบัตรเลียนแบบมีสีของภาพใกล้เคียงกับธนบัตรชนิด 50 บาท และผลการรู้จำธนบัตรตามตารางที่ 4-4 พบว่า ระบบสามารถรู้จำธนบัตรชนิด 50 บาท ได้ถูกต้อง จำนวน 18 ครั้ง และรู้จำผิดพลาดจากธนบัตรหรือวัตถุอื่นเป็นธนบัตรชนิด 50 บาท ได้แก่ ธนบัตรเลียนแบบ จำนวน 9 ครั้ง กระดาษสีน้ำเงิน จำนวน 4 ครั้ง และธนบัตรชนิด 500 บาท จำนวน 2 ครั้ง

ผลการทดลองธนบัตรชนิด 100 บาท

ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 100 บาท แสดงดังตารางที่ 4-5 รูปที่ 4-4 และผลการรู้จำธนบัตรชนิด 100 บาท แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 100 บาท

ภาพที่ตรวจสอบ	ค่า Correlation
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0.1932
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0.2943
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0.7211
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0.2866
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0.2449
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 100 บาท	0.4987
กระดาษสีแดง	0.4014



รูปที่ 4-4 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 100 บาท

ตารางที่ 4-6 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 100 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 100 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0
ธนบัตรชนิด 100 บาท	19
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 100 บาท	6
กระดาษสีแดง	5

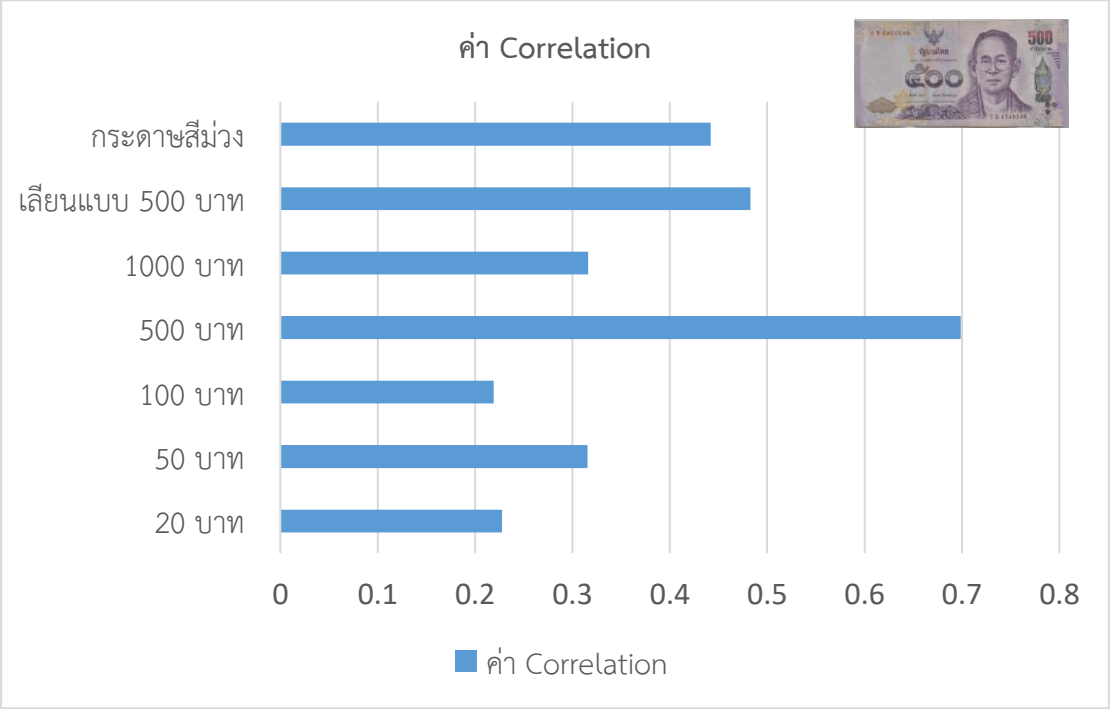
จากรูปที่ 4-4 แสดงผลการเปรียบเทียบภาพที่ตรวจสอบกับภาพตั้งต้นธนบัตรชนิด 100 บาท จะเห็นได้ว่า ธนบัตร 100 บาท ให้ค่า Correlation สูงสุดคือ 0.7211 และรองลงมาคือธนบัตรเลียนแบบชนิด 100 บาท อยู่ที่ 0.4987 และกระดาษสีแดง 0.4014 ส่วนธนบัตรชนิดอื่นมีค่าเข้าใกล้ 0 เนื่องจากมีฮิสโตแกรมสีไม่ใกล้เคียงกับธนบัตร 100 บาท ซึ่งพบว่าธนบัตรเลียนแบบชนิด 100 บาท และกระดาษสีแดงมีค่าเข้าใกล้ค่า Threshold ในการจำแนก และผลการรู้จำธนบัตรตามตารางที่ 4-6 พบว่า ระบบสามารถรู้จำธนบัตรชนิด 100 บาท ได้ถูกต้อง จำนวน 19 ครั้ง และรู้จำผิดพลาดจากธนบัตรหรือวัตถุอื่นเป็นธนบัตรชนิด 100 บาท ได้แก่ ธนบัตรเลียนแบบ จำนวน 6 ครั้ง กระดาษสีแดง จำนวน 5 ครั้ง

ผลการทดลองธนบัตรชนิด 500 บาท

ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 100 บาท แสดงดังตารางที่ 4-7 รูปที่ 4-5 และผลการรู้จำธนบัตรชนิด 500 บาท แสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 500 บาท

ภาพที่ตรวจสอบ	ค่า Correlation
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0.2276
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0.3155
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0.2192
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0.6987
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0.3161
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 500 บาท	0.4829
กระดาษสีม่วง	0.4421



รูปที่ 4-5 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 500 บาท

ตารางที่ 4-8 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 500 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 500 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0
ธนบัตรชนิด 50 บาท	2
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0
ธนบัตรชนิด 500 บาท	17
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 500 บาท	7
กระดาษสีม่วง	6

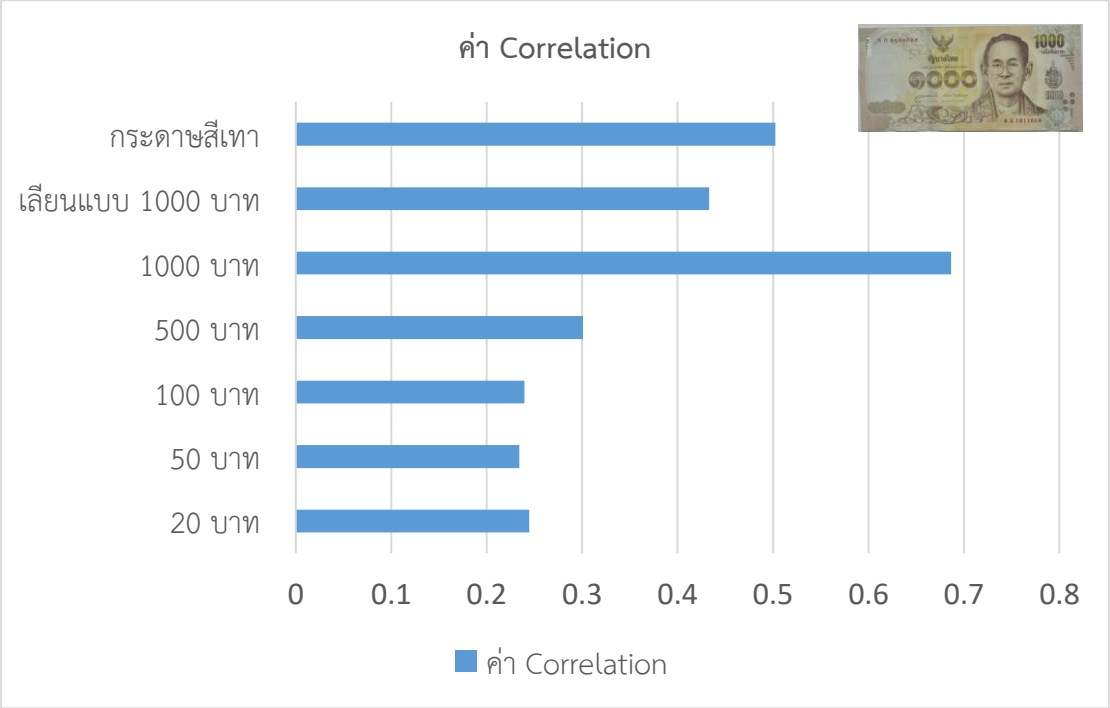
จากรูปที่ 4-5 แสดงผลการเปรียบเทียบภาพที่ตรวจสอบกับภาพตั้งต้นธนบัตรชนิด 500 บาท จะเห็นได้ว่า ธนบัตร 500 บาท ให้ค่า Correlation สูงสุดคือ 0.6987 และรองลงมาคือธนบัตรเลียนแบบชนิด 100 บาท อยู่ที่ 0.4829 และกระดาษสีม่วง 0.4421 ส่วนธนบัตรชนิดอื่นมีค่าเข้าใกล้ 0 เนื่องจากมีฮิสโตแกรมสีไม่ใกล้เคียงกับธนบัตร 500 บาท ซึ่งพบว่าธนบัตรเลียนแบบชนิด 500 บาท และกระดาษสีม่วงมีค่าเข้าใกล้ค่า Threshold ในการจำแนก และผลการรู้จำธนบัตรตามตารางที่ 4-8 พบว่า ระบบสามารถรู้จำธนบัตรชนิด 500 บาท ได้ถูกต้อง จำนวน 17 ครั้ง และรู้จำผิดพลาดจากธนบัตรหรือวัตถุอื่นเป็นธนบัตรชนิด 500 บาท ได้แก่ ธนบัตรเลียนแบบ จำนวน 7 ครั้ง กระดาษสีม่วง จำนวน 6 ครั้ง

ผลการทดลองธนบัตรชนิด 1000 บาท

ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 100 บาท แสดงดังตารางที่ 4-9 รูปที่ 4-6 และผลการรู้จำธนบัตรชนิด 1000 บาท แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-9 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีของภาพธนบัตรที่ตรวจสอบ กับภาพตั้งต้นชนิด 1000 บาท

ภาพที่ตรวจสอบ	ค่า Correlation
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0.2445
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0.2342
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0.2397
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0.3011
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0.6867
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 1000 บาท	0.4331
กระดาษสีเทา	0.5025



รูปที่ 4-6 ค่า Correlation ที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับธนบัตรชนิด 1000 บาท

ตารางที่ 4-10 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 1000 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 1000 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	2
ธนบัตรชนิด 50 บาท	3
ธนบัตรชนิด 100 บาท	2
ธนบัตรชนิด 500 บาท	3
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	18
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 1000 บาท	4
กระดาษสีเทา	7

จากรูปที่ 4-6 แสดงผลการเปรียบเทียบภาพที่ตรวจสอบกับภาพตั้งต้นธนบัตรชนิด 1000 บาท จะเห็นได้ว่า ธนบัตร 1000 บาท ให้ค่า Correlation สูงสุดคือ 0.6867 และรองลงมาคือกระดาษสีเทา อยู่ที่ 0.5025 และธนบัตรเลียนแบบชนิด 1000 บาท อยู่ที่ 0.4331 ส่วนธนบัตรชนิดอื่นมีค่าเข้าใกล้ 0 เนื่องจากมีฮิสโตแกรมสีไม่ใกล้เคียงกับธนบัตร 1000 บาท ซึ่งหากเทียบกับค่า Threshold ในการจำแนก พบว่า กระดาษสีเทา ระบบก็ระบุเป็น ธนบัตร 1000 บาท และธนบัตรเลียนแบบชนิด 1000 บาท มีค่าเข้าใกล้ค่า Threshold ในการจำแนก เนื่องจากกระดาษสีเทาและธนบัตรเลียนแบบที่นำมาทดสอบมีสีของภาพใกล้เคียงกับธนบัตรชนิด 1000 บาท และผลการรู้จำธนบัตรตามตารางที่ 4-10 พบว่า ระบบสามารถรู้จำธนบัตรชนิด 1000 บาท ได้ถูกต้อง จำนวน 18 ครั้ง และรู้จำผิดพลาดจากธนบัตรหรือวัตถุอื่นเป็นธนบัตรชนิด 1000 บาท ได้แก่ ธนบัตรชนิด 20 บาท จำนวน 2 ครั้ง ธนบัตรชนิด 50 บาท จำนวน 3 ครั้ง ธนบัตรชนิด 100 บาท จำนวน 2 ครั้ง ธนบัตรชนิด 500 บาท จำนวน 3 ครั้ง ธนบัตรเลียนแบบ จำนวน 4 ครั้ง กระดาษสีน้ำเทา จำนวน 7 ครั้ง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อทำการตรวจสอบภาพธนบัตรด้วยการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีกับภาพธนบัตรตั้งต้นแต่ละชนิดแล้ว พบว่า ผลลัพธ์การรู้จำส่วนใหญ่ระบุชนิดถูกต้องเมื่อตรวจสอบกับธนบัตรจริง แต่เมื่อนำไปตรวจสอบกับภาพธนบัตรเลียนแบบและกระดาษสี พบว่า ผลการรู้จำผิดพลาดคือประมวลผลภาพดังกล่าวออกมาเป็นชนิดธนบัตรเช่นกัน เช่น ธนบัตรเลียนแบบ 20 บาท และกระดาษสีเขียว ผลการรู้จำออกมาเป็นธนบัตรชนิด 20 บาท ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากธนบัตรเลียนแบบหรือกระดาษสีที่นำมาทดสอบมีค่าฮิสโตแกรมสีที่ใกล้เคียงกันกับภาพตั้งต้นของธนบัตรชนิดนั้นๆ

4.1.2 การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature

การทดลองนี้ทำการวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature โดยทดลองตรวจจับภาพวัตถุที่เป็นธนบัตรไทยแต่ละชนิด ชนิดละ 20 ภาพ หากตรวจจับพบชนิดไหน ให้แสดงผลการรู้จำเป็นธนบัตรชนิดนั้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-11, ตารางที่ 4-12, ตารางที่ 4-13, ตารางที่ 4-14 และตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-11 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 20 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 20 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	20
ธนบัตรชนิด 50 บาท	13
ธนบัตรชนิด 100 บาท	10
ธนบัตรชนิด 500 บาท	8
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	8
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 20 บาท	0
กระดาษสีเขียว	0

ตารางที่ 4-12 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 50 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 50 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	11
ธนบัตรชนิด 50 บาท	20
ธนบัตรชนิด 100 บาท	10
ธนบัตรชนิด 500 บาท	7
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	9
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 50 บาท	0
กระดาษสีน้ำเงิน	0

ตารางที่ 4-13 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 100 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 100 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	8
ธนบัตรชนิด 50 บาท	9
ธนบัตรชนิด 100 บาท	20
ธนบัตรชนิด 500 บาท	9
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	10
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 100 บาท	0
กระดาษสีแดง	0

ตารางที่ 4-14 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 500 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 500 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	10
ธนบัตรชนิด 50 บาท	12
ธนบัตรชนิด 100 บาท	9
ธนบัตรชนิด 500 บาท	20
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	10
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 500 บาท	0
กระดาษสีม่วง	0

ตารางที่ 4-15 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature ของชนิด 1000 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 1000 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	9
ธนบัตรชนิด 50 บาท	11
ธนบัตรชนิด 100 บาท	13
ธนบัตรชนิด 500 บาท	9
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	20
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 1000 บาท	0
กระดาษสีเทา	0

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ธนบัตรเลียนแบบและกระดาษสีไม่ถูกตรวจจับและรู้จำเป็นชนิดธนบัตร ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเมื่อเทียบกับการทดลองที่ 4.1.1 แต่สำหรับผลลัพธ์การรู้จำธนบัตรชนิดต่างๆ พบว่า เมื่อทำการตรวจจับและรู้จำธนบัตรชนิดที่ทดสอบ ระบบให้ผลลัพธ์การรู้จำที่ถูกต้องครบทั้ง 20 ครั้ง แต่เมื่อทำการตรวจจับและรู้จำธนบัตรชนิดอื่นพบว่า มีจำนวนครั้งที่รู้จำผิดพลาดมาเป็นชนิดธนบัตรที่ทดสอบจำนวนหลายครั้ง เช่น ทำการรู้จำธนบัตรชนิด 50 บาท เมื่อทดสอบกับธนบัตรชนิด 500 บาท ปรากฏว่า ระบบรู้จำผิดพลาดเป็นธนบัตรชนิด 50 บาท จำนวน 7 ครั้ง เป็นต้น โดยผลการรู้จำที่ผิดพลาดอาจเกิดจาก ลวดลายธนบัตรที่คล้ายคลึงกัน จึงทำให้ระบบประมวลผลออกมาเป็นชนิดเดียวกัน

4.1.3 การทดลองวัดความถูกต้องของการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

การทดลองนี้ทำการวัดความถูกต้องการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี โดยทดลองรู้จำภาพวัตถุที่เป็นธนบัตรไทยแต่ละชนิด ชนิดละ 20 ภาพ ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-17, ตารางที่ 4-18, ตารางที่ 4-19, ตารางที่ 4-20 และตารางที่ 4-21

ตารางที่ 4-16 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 20 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 20 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	20
ธนบัตรชนิด 50 บาท	1
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 20 บาท	0
กระดาษสีเขียว	0

ตารางที่ 4-17 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 50 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 50 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0
ธนบัตรชนิด 50 บาท	18
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0
ธนบัตรชนิด 500 บาท	2
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 50 บาท	0
กระดาษสีน้ำเงิน	0

ตารางที่ 4-18 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 100 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 100 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0
ธนบัตรชนิด 100 บาท	20
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	1
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 100 บาท	0
กระดาษสีแดง	0

ตารางที่ 4-19 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 500 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 500 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	0
ธนบัตรชนิด 50 บาท	2
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0
ธนบัตรชนิด 500 บาท	19
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	0
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 500 บาท	0
กระดาษสีม่วง	0

ตารางที่ 4-20 ผลการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิค Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีของชนิด 1000 บาท

ภาพที่ทดสอบ	จำนวนครั้งที่รู้จำเป็นชนิด 1000 บาท
ธนบัตรชนิด 20 บาท	1
ธนบัตรชนิด 50 บาท	0
ธนบัตรชนิด 100 บาท	0
ธนบัตรชนิด 500 บาท	0
ธนบัตรชนิด 1000 บาท	18
ธนบัตรเลียนแบบชนิด 1000 บาท	0
กระดาษสีเทา	0

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อนำ 2 เทคนิคมารวมกัน คือ ตรวจจับวัตถุที่เป็นธนบัตรด้วย Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีกับภาพธนบัตรตั้งต้น พบว่า สามารถตรวจจับวัตถุที่เป็นธนบัตรจริงและรู้จำวัตถุแต่ละชนิดได้ถูกต้องมากกว่าการทดลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 เนื่องจากการประมวลผลด้วยเทคนิค Haar-like feature จะทำการตรวจจับวัตถุที่เป็นธนบัตรจริงเท่านั้น ทำให้ช่วยคัดกรองธนบัตรเลียนแบบหรือวัตถุที่ไม่ใช่ธนบัตรออกไปก่อนจะนำภาพธนบัตรที่ได้มาจำแนกชนิดธนบัตรด้วยการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

4.1.4 การประเมินผลเพื่อวัดประสิทธิผลของการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสี

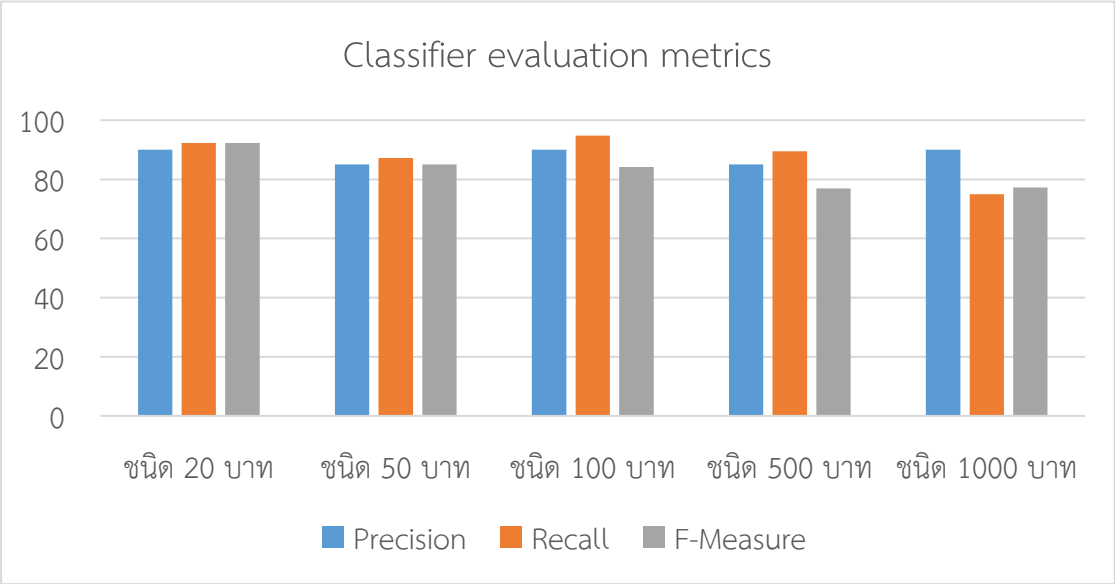
จากการทดลองดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคการรู้จำธนบัตรด้วยเทคนิคการตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และเปรียบเทียบเทียบฮิสโตแกรมสีมาพัฒนาแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตร และทำการประเมินผลการรู้จำด้วยเทคนิคดังกล่าวโดยการพิจารณาผลลัพธ์ตามตาราง Confusion matrix เพื่อหาค่าประสิทธิผลต่างๆ ได้แก่ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความครบถ้วน (Recall) ค่าถ่วงดุล (F-Measure) ของการรู้จำแต่ละชนิดธนบัตร ซึ่งผลลัพธ์สรุปได้ตามตารางที่ 4-21 ค่าประสิทธิผลของการรู้จำธนบัตรแต่ละชนิดตามตารางที่ 4-22 และกราฟเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ ค่าความครบถ้วน และค่าความถ่วงดุลการรู้จำธนบัตรแต่ละชนิด แสดงดังรูปที่ 4-7

ตารางที่ 4-21 Confusion Matrix ที่ได้จากผลการทดสอบรู้จำธนบัตร

Confusion Metrix		ผลลัพธ์ที่ได้				
		20 บาท	**50 บาท**	**100 บาท**	**500 บาท**	**1000 บาท**
ชนิดธนบัตรที่ตรวจสอบ	**20 บาท**	18	0	0	0	2
	50 บาท	0	17	0	2	1
	100 บาท	0	0	18	0	3
	500 บาท	0	2	0	17	1
	1000 บาท	1	0	1	0	18

ตารางที่ 4-22 สรุปค่าประสิทธิผลของการรู้จำธนบัตรแต่ละชนิด

ชนิดธนบัตร	ค่าความแม่นยำ(%)	ค่าความครบถ้วน(%)	ค่าความถ่วงดุล(%)
20 บาท	90.00	94.74	92.31
50 บาท	85.00	89.47	87.17
100 บาท	90.00	94.74	92.31
500 บาท	85.00	89.47	87.17
1000 บาท	90.00	75.00	81.82



รูปที่ 4-7 กราฟเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ ค่าความครบถ้วน และค่าความถ่วงดุลการรู้จำธนบัตร

จากผลการทดสอบวัดประสิทธิผลการรู้จำธนบัตรของแอปพลิเคชัน พบว่า ธนบัตรชนิด 20 บาท และธนบัตรชนิด 100 บาท มีค่าประสิทธิผลในการรู้จำมากที่สุด คือ มีค่าความแม่นยำ 90.00 % ค่าความครบถ้วน 94.74 % และค่าความถ่วงดุล 92.31 % รองลงมาคือ ธนบัตรชนิด 50 บาท, 500 บาท และ 1000 บาท โดยธนบัตรชนิด 1000 บาท ให้ค่าความครบถ้วนน้อยที่สุดคือ 75% เนื่องจากมีธนบัตรชนิดอื่นที่แอปพลิเคชันรู้จำผิดพลาดเป็นธนบัตรชนิด 1000 บาท จำนวน 7 ครั้ง ซึ่งสาเหตุเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ทดสอบมีแสงที่แตกต่างกัน ในกรณีที่แสงน้อยส่งผลให้ธนบัตรที่ตรวจสอบมีเฉดสีโทนสีเทาดำซึ่งเป็นเฉดสีที่คล้ายกันกับธนบัตรชนิด 1000 บาท หรือสภาพธนบัตรที่ทดสอบผ่านการใช้งานมานานทำให้สีของธนบัตรเพี้ยนไปจากเดิม จึงทำให้เกิดการรู้จำที่ผิดพลาดขึ้นได้ และจากผลการทดลอง ค่าความถูกต้องของการรู้จำธนบัตรทั้งหมดอยู่ที่ 88 %

4.2 การวัดความสามารถในการใช้งานของผู้ใช้ (Usability)

ส่วนนี้คือผลประเมินด้านความสามารถในการใช้งาน โดยผู้พิการทางสายตาที่ทดสอบการใช้งานแอปพลิเคชัน ซึ่งวัดผลความพึงพอใจด้านความสามารถในการใช้งานด้วยแบบสอบถามที่ครอบคลุม 7 ปัจจัยตัวชี้วัด ได้แก่ การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability), ประสิทธิภาพ (Efficiency), ประสิทธิผล (Effectiveness), ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality), ข้อผิดพลาด (Errors), ความพึงพอใจ (Satisfaction) และภาระโหลดการใช้งาน (Cognitive Load) ผลลัพธ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม แสดงดังตารางที่ 4-3 และความพึงพอใจด้านความสามารถในการใช้งาน แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-23 ข้อมูลทั่วไปของผู้ทดสอบ

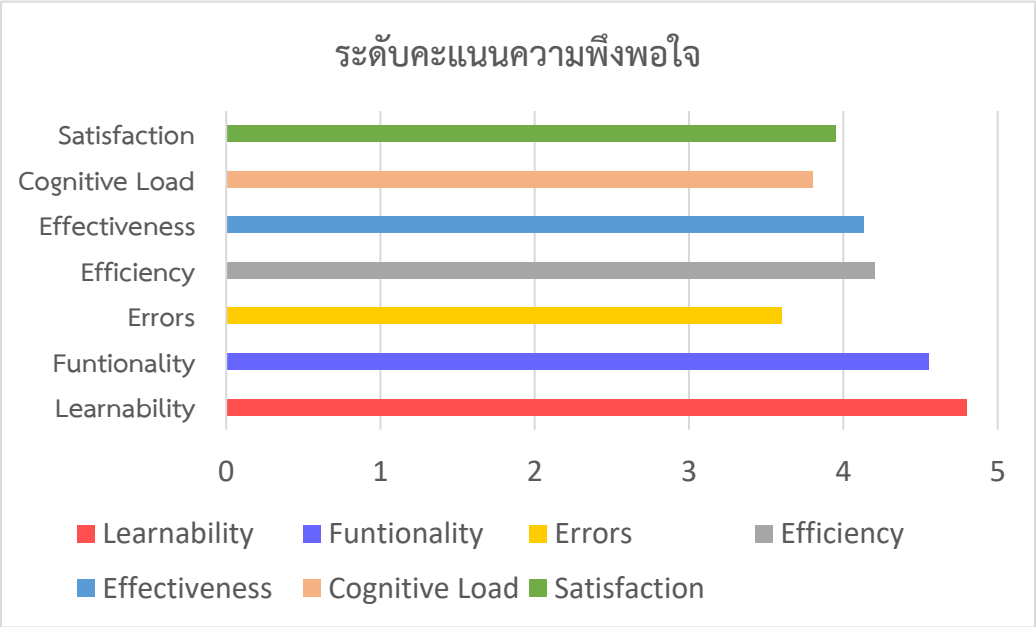
	เพศ	**อายุ**	**อาชีพ**	**วุฒิการศึกษา**	**ประสบการณ์ใช้งานแอปพลิเคชันโทรศัพท์เคลื่อนที่**
ผู้ทดสอบคนที่ 1	ชาย	39	ครู	ปริญญาตรี	5 ปี
ผู้ทดสอบคนที่ 2	หญิง	15	นักเรียน	มัธยมศึกษา	2 ปี
ผู้ทดสอบคนที่ 3	หญิง	17	นักเรียน	มัธยมศึกษา	3 ปี
ผู้ทดสอบคนที่ 4	หญิง	14	นักเรียน	มัธยมศึกษา	2 ปี
ผู้ทดสอบคนที่ 5	ชาย	15	นักเรียน	มัธยมศึกษา	3 ปี

ตารางที่ 4-24 ผลการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจ

รายการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability)			
1.1 ท่านสามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้ง่าย	4.8	0.45	ดีมาก
1.2 ท่านสามารถเรียนรู้วิธีการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว	5	0	ดีมาก
1.3 ท่านคิดว่าเสียงพูดที่ใช้สื่อความหมายให้สามารถเข้าใจง่าย	4.8	0.45	ดีมาก
1.4 ท่านสามารถเข้าใจและใช้งานแอปพลิเคชันได้ตั้งแต่ครั้งแรกที่ใช้งาน	4.6	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	**4.8**	**0.36**	**ดีมาก**
2. ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality)			
2.1 ฟังก์ชันประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ช่วยให้การใช้งานสะดวกขึ้น	4.4	0.55	ดีมาก
2.2 ฟังก์ชันแสดงผลลัพธ์เป็นเสียงพูดสามารถสื่อสารเข้าใจได้ง่าย	4.6	0.55	ดีมาก
2.3 ฟังก์ชันการทำงานโดยรวมไม่ซับซ้อน ใช้งานง่าย	4.6	0.55	ดีมาก
2.4 ฟังก์ชันการทำงานมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน	4.6	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	**4.55**	**0.55**	**ดีมาก**
3. ข้อผิดพลาด (Errors)			
3.1 แอปพลิเคชันมีการจัดการกับข้อผิดพลาดได้อย่างเหมาะสม	3.4	0.49	ดี
3.2 แอปพลิเคชันใช้งานได้อย่างราบรื่นโดยไม่มีข้อผิดพลาด	3.8	0.45	ดี
ค่าเฉลี่ย	**3.6**	**0.47**	ดี

รายการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
4. ประสิทธิภาพ (Efficiency)			
4.1 แอปพลิเคชันสามารถระบุชนิดธนบัตรได้ในเวลาที่เหมาะสม	3.6	0.55	ดี
4.2 แอปพลิเคชันสามารถอ่านออกเสียงภาษาไทยได้ถูกต้องชัดเจน	4.8	0.45	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	**4.2**	**0.5**	**ดี**
5. ประสิทธิผล (Effectiveness)			
5.1 แอปพลิเคชันสามารถระบุชนิดธนบัตรได้ถูกต้อง	4	0	ดีมาก
5.2 ท่านสามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้สำเร็จลุล่วงด้วยตนเอง	4.6	0.55	ดีมาก
5.3 ท่านคิดว่าแอปพลิเคชันสามารถทำงานครบถ้วนสมบูรณ์	3.8	0.45	ดี
ค่าเฉลี่ย	**4.13**	**0.33**	**ดีมาก**
6. ภาระโหลดการใช้งาน (Cognitive Load)			
6.1 ท่านสามารถใช้งานแอปพลิเคชันในขณะที่ทำงานอื่นพร้อมกันได้	3.8	0.45	ดี
6.2 ท่านสามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้โดยไม่รู้สึกเพิ่มภาระ	4	0	ดีมาก
6.3 ขณะใช้แอปพลิเคชันท่านใช้ภาระโหลดการใช้งานของท่านน้อย	3.6	0.49	ดี
ค่าเฉลี่ย	**3.8**	**0.31**	**ดี**
7. ความพึงพอใจการใช้งาน (Satisfaction)			
7.1 ท่านมีความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยและปรารถนาจะแนะนำให้คนอื่นใช้งานด้วย	3.8	0.45	ดี

รายการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
7.2 ท่านคิดว่าแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยสามารถนำไปใช้งานในชีวิตประจำวันได้	3.8	0.45	ดี
7.3 ท่านถูกใจแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยมากกว่าการจำแนกธนบัตรรูปแบบเดิม	4	0.71	ดี
7.4 ท่านมีความพึงพอใจโดยรวมในการใช้งานแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทย	4.2	0.45	ดี
ค่าเฉลี่ย	**3.95**	**0.52**	**ดี**
ค่าเฉลี่ยทุกด้าน	**4.15**	**0.43**	**ดี**



รูปที่ 4-8 เปรียบเทียบระดับคะแนนความพึงพอใจของแต่ละปัจจัยตัวชี้วัดความสามารถการใช้งาน

จากผลแบบสอบถามความพึงพอใจแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียล์ไทม์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตาจากตารางที่ 4-24 พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจด้านการเรียนรู้การใช้งาน (Learnability) ดีมาก ซึ่งคะแนนเฉลี่ยที่ได้คือ 4.8 รองลงมาคือด้านฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality) ด้านประสิทธิภาพ (Efficiency) ด้านประสิทธิผล (Effectiveness) ด้านความพึงพอใจในการใช้งาน (Satisfaction) ด้านภาระโหลดการใช้งาน (Cognitive Load) และความพึงพอใจน้อยที่สุดคือ ด้านข้อผิดพลาด (Errors) ได้คะแนนเฉลี่ย 3.6 ผลการเปรียบเทียบระดับคะแนน

ความพึงพอใจแสดงดังกราฟรูปที่ 4-8 จากระดับคะแนนเฉลี่ยของปัจจัยตัวชี้วัดความสามารถในการใช้งานทุกด้าน มีคะแนนความพึงพอใจโดยรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 4.15 ซึ่งคะแนนความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดี

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล พบว่า ค่าเบี่ยงเบนส่วนมาตรฐานของประเด็นคำถามที่เกี่ยวกับปัจจัยตัวชี้วัดด้านการใช้งานสูงกว่าปัจจัยตัวชี้วัดด้านอื่นๆ (S.D. = 0.55) ซึ่งแสดงว่าผู้ใช้มีความคิดเห็นที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ของแต่ละคน รองลงมาคือด้านความพึงพอใจการใช้งาน (S.D. = 0.52) ซึ่งขึ้นอยู่กับความคาดหวังจากผลลัพธ์ที่แตกต่างกันของผู้ใช้แต่ละคน ในส่วนของประเด็นคำถามของปัจจัยตัวชี้วัดด้านการเรียนรู้การใช้งาน, ประสิทธิภาพ, ประสิทธิผล, ภาระโหลดการใช้งานและข้อผิดพลาดมีการกระจายตัวของข้อมูลน้อย แสดงว่าส่วนใหญ่ผู้ใช้มีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกัน

4.3 ผลลัพธ์การพัฒนาระบบ

ผลจากการพัฒนาแอปพลิเคชันรู้จำธนบัตรธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา สามารถประมวลผลลัพธ์ดังตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4-9, 4-10, 4-11, 4-12 และ 4-13 ตามลำดับ ทั้งนี้ผลการแปลงข้อความเป็นเสียงพูดระบบจะเปล่งเสียงตามข้อความชนิดธนบัตปรากฏบนหน้าจอจากการประมวลผลภาพ

รูปที่ 4-9 ผลลัพธ์ของธนบัตรชนิด 20 บาท

รูปที่ 4-10 ผลลัพธ์ของธนบัตรชนิด 50 บาท

รูปที่ 4-11 ผลลัพธ์ของธนบัตรชนิด 100 บาท

รูปที่ 4-12 ผลลัพธ์ของธนบัตรชนิด 500 บาท

รูปที่ 4-13 ผลลัพธ์ของธนบัตรชนิด 1000 บาท

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์นี้ ได้บรรลุวัตถุประสงค์การพัฒนาต้นแบบแอปลิเคชันการรู้จำธนบัตรไทยแบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับผู้พิการทางสายตา โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค Haar like feature มาใช้ในการตรวจจับวัตถุที่เป็นธนบัตรแบบเรียลไทม์ ใช้เทคนิคการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสีเพื่อจำแนกชนิดธนบัตร และอ่านค่าธนบัตรที่ได้ด้วยเทคนิคการแปลงข้อความเป็นเสียงพูด ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่า

1) การนำเทคนิคตรวจจับวัตถุ Haar-like feature และคำนวณเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมสี มาประยุกต์ใช้ในประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์เพื่อจำแนกธนบัตรแต่ละชนิด และแสดงผลลัพธ์ด้วยเทคนิคการแปลงข้อความเป็นเสียงพูด สามารถสร้างความสะดวกด้านความสามารถในการใช้งาน (Usability) ให้ผู้พิการทางสายตาได้ ซึ่งจากผลการวัดประสิทธิผลการรู้จำธนบัตร พบว่า มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) อยู่ในระดับ 88 % และผลการทดสอบความพึงพอใจต่อการใช้งานด้าน (usability) โดยรวมเฉลี่ย 4.15 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับ ดี

2) การศึกษาปัจจัยความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ พบว่า การเลือกปัจจัยตัวชี้วัดด้านความสามารถในการใช้งาน ขึ้นอยู่กับลักษณะของแอปพลิเคชันและวัตถุประสงค์ที่ต้องการทดสอบ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกปัจจัยตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินผลความสามารถในการใช้งาน ทั้งหมด 7 ด้าน ได้แก่ การเรียนรู้การใช้งาน (Learnability), ประสิทธิภาพ (Efficiency) ประสิทธิผล (Effectiveness), ฟังก์ชันการใช้งาน (Functionality), ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น (Errors),ความพึงพอใจ (Satisfaction) และภาระโหลดของการใช้งาน (Cognitive Load) โดยนำปัจจัยตัวชี้วัดเหล่านี้มาใช้ในการประเมินผลความสามารถในการใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อทราบถึงความพึงพอใจและปัญหาการใช้งานที่แท้จริงจากผู้ใช้ตามผลที่ได้ระบุในหัวข้อข้างต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันการรู้จำธนบัตร เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นต่าง ๆ ต่อไปนี้

1) ควรมีการศึกษาเทคนิคและอัลกอริทึมการประมวลผลภาพอื่นๆนอกเหนือจากการพิจารณา ทในเรื่องของสีเพิ่มเติม เนื่องจากการพิจารณาคุณลักษณะเด่นทางสี จะมีข้อจำกัดเรื่องปัจจัยของสภาวะแสงที่ส่งผลกระทบต่อการประมวลผล ทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ง่าย

2) ควรพิจารณาคุณลักษณะ (features) อื่นๆ ของธนบัตรเพิ่มเติมเพื่อการรู้จำหรือจำแนก เช่น พิจารณาที่ตัวเลขไทยบนภาพธนบัตร หรือสัญลักษณ์รูปดอกไม้ ซึ่งเป็นอีกสองส่วนที่มีความแตกต่างกันของแต่ละชนิดธนบัตร

3) ควรมีการศึกษาพัฒนาเทคนิคและอัลกอริทึมการประมวลผลภาพอื่นๆ ที่ให้ความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผลการรู้จำธนบัตร เพื่อนำมาปรับปรุงในส่วนการประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ให้เร็วยิ่งขึ้น ให้สามารถรองรับการใช้งานของผู้ใช้ผู้พิการทางสายตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในงานวิจัยยังมีหน่วงเวลาในการประมวลผลภาพธนบัตรครั้งแรกพอสมควร

4) ควรมีการปรับปรุงเพิ่มเติมส่วนของการสร้างตัวแบบธนบัตรให้มี Interface สำหรับทำการฝึกฝนเรียนรู้ข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถสร้างและนำเข้าแอปพลิเคชันได้ด้วยตนเอง เพื่อให้รองรับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบธนบัตรแบบใหม่ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

5) ควรมีการศึกษาปัจจัยความสามารถในการใช้งานเพิ่มเติม เพื่อหารูปแบบและวิธีการที่เหมาะสมในการประเมินผล

บรรณานุกรม

[1] Rashidah Funke Olanrewaju, Fajingbesi Fawwaz Eniola and Shaibo. Mohammed Mahmoud M, “Automated Bank Note Identification System for Visually Impaired Subjects in Malaysia” in 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2016, pp. 115-120.

[2] Noura A. Semary, Sondos M. Fadl, Magda S. Essa, Ahmed F. Gad, “Currency Recognition System for Visually Impaired: Egyptian Banknote as a Study Case” in 2015 5th International Conference on Information & Communication Technology and Accessibility (ICTA), 2015, pp. 1-6.

[3] Aisah Mohamed, Mohd Ikram Ishak, Norlida Buniyamin, “Development of a Malaysian Currency Note Recognizer for the Vision Impaired” in 2012 Spring Congress on Engineering and Technology, 2012, pp. 1-4.

[4] Adisom Sirikham, Werapon Chiracharit, and Kosin Chamnongthai, “Banknote and coin speaker device for blind people” in 2009 11th International Conference on Advanced Communication Technology, 2009, Vol. 03, pp 2137-2140.

[5] Felipe Grijalva; J. C. Rodríguez; Julio Larco; Luis Orozco, “Smartphone recognition of the U.S. banknotes' denomination, for visually impaired people” in 2010 IEEE ANDESCON, 2010, pp. 1-6.

[6] Rémi Parlouar, Florian Dramas, Marc J-M Macé, Christophe Jouffrais, “Assistive Device for the Blind Based on Object Recognition: an Application to Identify Currency Bills” in 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility, 2009, pp. 227-228.

[7] Mohammad M. Rahman, Bruce Poon, M. Ashraful Amin, Hong Yan, “Recognizing Bangladeshi Currency for Visually Impaired” in International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2014, pp. 129-135.

[8] Suriya Singh, Shushman Choudhury, Kumar Vishal, C.V. Jawahar, “Currency Recognition on Mobile Phones” in 22nd International Conference on Pattern Recognition, 2014, pp. 2661-2666.

[9] Nimra Sultan, Kainat Siddiq, Tabia Rashid, Maria Farooque, “Evaluation of Smart Phone Applications Accessibility for Blind Users” in International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), 2015, Vol.127.No.3.

[10] ASHRAF SALEH, ROESNITA BINTI ISAMIL, NORASIKIN BINTI FABIL, “EXTENSION OF PACMAD MODEL FOR USABILITY EVALUATION METRICS USING GOAL QUESTION METRICS (GQM) APPROACH” in Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2015, Vol.79.No.1.

[11] Rachel Harrison, Derek Flood David Duce, “Usability of mobile applications: literature review and rationale for a new usability model” in Journal of Interaction Science, 2013.

[12] Anam Ashraf, Arif Raza, “Usability Issues of Smart Phone Applications: For Visually Challenged People” in International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, 2014, Vol.8.No.5

[13] Ndhi N Patel, Pankaj Dalal, “Usability Evaluation of Mobile Applications” in International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2013, Vol.2.Issue.11.

[14] Dongsong Zhang, Boonlit Adipat, “Challenges, Methodologies, and Issues in the Usability Testing of Mobile Applications” in International Journal of Human–Computer Interaction, 2005, Vol.18.Issue.3.

[15] “คนพิการทางการสายตา” [Online]. Available: http://nep.go.th/th/disabilities-knowledge. [เข้าถึงเมื่อ: 5 พฤศจิกายน 2559]

[16] Paul Viola, Michael Jones, "Robust Real-time Object Detection" in SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP ON STATISTICAL AND COMPUTATIONAL THEORIES OF VISION – MODELING, LEARNING, COMPUTING, AND SAMPLING, 2001.

[17] Lamiaa A. Elrefaei, Alaa Alharthi, Huda Alamoudi, Shatha Almutairi, and Fatima Al-rammah, “Real-time Face Detection and Tracking on Mobile Phones for Criminal Detection” in 2017 2nd International Conference on Anti-Cyber Crimes (ICACC), 2017, pp. 75-80.

[18] ATIBI Mohameda, ATOUF Issama, BOUSSAA Mohameda, BENNIS Abdellatifa, “Real-time detection of vehicles using the haar-like features and artificial neuron networks” in Thr International Conference on Advanced Wireless, Information, and Communication Technologies (AWICT 2015), 2015, pp. 24-31.

[19] Kuan Zheng, Yuanxing Zhao, Jing Gu, Qingmao Hu, “License plate detection using Haar-like features and histogram of oriented gradients” in 2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2012, pp. 1502-1505.

[20] Won J. Jeon, Taewoo Lee, Byeongdae Woo, Kwangyong Lim, “Real-time Detection of Speed-Limit Traffic Signs on The Real Road using Haar-like Features and Boosted Cascade” in the 8th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 2014, No.93.

[21] ISO 9241: Ergonomics Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs) International Standards Organisation, Geneva, 1997.

[22] Nielsen J, “Usability 101: Introduction to usability.” [Online]. Available: http://www.useit.com/alertbox/20030825.html [Accessed: 8 Nov. 2016]

[23] M. Fakrudeen, M. Ali, S. Yousef and A.H. Hussein, “Analyzing the Mental Model of Blind Users” in Mobile Touch Screen Device for Usability” World Congress on Engineering, 2013, Vol II, 2013.

[24] Sri Hastuti Kurniawan, Alistair G. Sutcliffe, Paul L. Blenkhorn, “How Blind Users’ Mental Models Affect Their Perceived Usability of an Unfamiliar Screen Reader” in Human Computer Interaction, 2003, pp. 631-638.

[25] Siti Nur Syazana, Mat Saei, Suziah Sulaiman, Halabi Hasbullah, “Mental Model of Blind Users to Assist Designers in System Development” in 2010 International Symposium on Information Technology, 2010, Vol.1, pp. 1-5.

[26] Jesse Davis, Mark Goadrich, "The relationship between Precision-Recall and ROC curves", the 23rd international conference on Machine learning, 2006, pp.233-240

[27] Powers, David M W., "Evaluation: From Precision, Recall and F-Factor to ROC, Informedness, Markedness & Correlation", Journal of Machine Learning Technologies. 2011, pp.37–63.

[28] Likert, Rensis, "A Technique for the Measurement of Attitudes", Archives of Psychology, 1932, Vol.140, pp.1–55.

ภาคผนวก

ภาคผนวก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

1. S. Angsupanich and S. Matayong, "Applying the mental model for real-time recognition of Thai banknotes: The blinds' mobile application", in The 3rd International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS 2016), Kuala lumpur, Malasia, Aug 2016, pp. 86-90.

UNIVERSITI TEKNOLOGI PETRONAS

ESTCON

2016 3rd
International Conference On Computer And Information Sciences (ICCOINS)
15 - 17 August 2016
Kuala Lumpur Convention Centre

ICCOINS 2016

Organised by

Supported by

IEEE Computational Intelligence Society

All rights reserved.
Copyright ©2016 by IEEE.

ISBN:
978-1-5090-5134-2

CFP:

2016 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND INFORMATION SCIENCES (ICCOINS)

A Conference of

WORLD ENGINEERING, SCIENCE & TECHNOLOGY CONGRESS (ESTCON)

ESTCON

15 - 17 August 2016

Kuala Lumpur Convention Centre

PROCEEDINGS

UNIVERSITI TEKNOLOGI PETRONAS

2016 3rd International Conference On Computer And Information Sciences (ICCOINS)

Applying the Mental Model for Real-Time Recognition of Thai Banknotes: The Blinds' Mobile Application

Suriporn Angsupanich[1] and Sureena Matayong[2]

[1]Master of Sciences Program in Management of Information Technology, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University HatYai, Songkhla, Thailand

[2]Master of Sciences Program in Management of Information Technology, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University HatYai, Songkhla, Thailand

[1]suriporn.a@psu.ac.th, [1]suriporn.a@cc.psu.ac.th, [2]sureena.m@psu.ac.th, [2]msureena@eng.psu.ac.th

***Abstract*— This study examines the blind users' experiences of Thai banknotes recognition to develop mobile application for them. The investigation is based on the mental model to find out how their cognitive idea related to usability concerns of the application. To conduct the study, the blind students and teachers at the blind school in Hatyai, Songkla Thailand were recruited as participants. In general, they were various in age and having different experiences with smartphones and mobile applications. The mental model for the blinds' mobile application revealed the usability matters as useful, easy and availability for the outcome of this study. The blinds' mobile application is preferred to be simple rather than complex. For example, the application features should be automatic like the feature of barcode reader application, which can scan banknotes and speak value voice in a real time. Based on the findings, the prototype of blinds' mobile application, for real-time recognition of Thai banknotes is developed.**

Keywords—the mental model; blind users; Thai banknotes; mobile applications

I. INTRODUCTION

The advancement of mobile technology has brought many applications for blind people to get along with challenging of their impairment in daily life. The mobile applications are considered as very useful tools that have been developed by different platforms of operations. Mostly, the operations that support the applications are iOS and Android as contemporary smartphones platforms, which so far have produced several valuable applications for the blinds like Barcode Reader, SayText, TalkBack, CamFind, VoiceEye. In fact, there are various approaches that the system developer can rely on if they want to understand the blind users' experiences when developing the related applications. One of the approach is the theory of mental model, which system developer uses as a tool to understand both the normal sighted and the blind users' experiences of the relevance applications. According to the concept of mental model, the blind users' prediction command, system actions, and usability perception concerns could be understandable and acquired [3]. Although, there are some studies have been applied the mental model to understand the blind users for several applications development [5][8][9][12] however, the researches that are investigated to understand the usability problems of mobile applications in particular are still limited.

In this study, the researchers apply mental model to investigate blind user's experiences of usability concerns for Thai banknotes recognition to develop mobile application for them. The study explains the role of mental model and illustrates how the model can assist to design the application. The remained of this paper is organized as follows: Section II discusses related works in investigating of how other researches have applied the concept of mental models for their systems and applications in general. Section III, describes the applying method of the mental model for this study. Section IV explains the development of application prototype. Section V concludes the study together with future work details.

II. RELATED WORK

Generally, people construct their mind and predict the future situation of reality by sensory system and enrich with their past experiences, which developed through association with others. According to cognitive science, this is known as theory of mental model [3]. The theory of mental model is "a mental image of the world around us that we carry in our heads depicting only selected concepts and relationships that represent real systems" [1]. In the field of computer, the concept of mental model has been extensively applied to investigate various aspects of the system environment which are enormous. The definition of mental model in the field of computer study can be defined as "the users' understanding of what the system contains, how the system works' and why the systems work in that manner" [2].

In fact, the mental model can be applied to investigate the computer users both normal sighted and the blinds. For the normal sighted users, there are several research works have applied the model to investigate the computer related studies in various aspects such as programing [1][2][11], designing [12], developing [1][12], human computer interaction

 978-1-5090-2549-7/16/$31.00 ©2016 IEEE

[12][6][10], environment of operations [8]. On the other hand, there are quiet few numbers of studies to understand blind computer users [12][8][5][9]. Among the studies are; applying mental model to assist designing for system development [12], investigating usability concerns for screen readers with the mental model [8] [9], and using the mental model to develop mobile touchscreen devices [5].

III. METHOD

This section is a part of examination the blind user's mental model for mobile application development. The section describes the participants, tools and software, procedure, and analysis of the blind users' mental model for Thai banknotes recognition. The result of application prototype shows in the next section.

A. Participants

Participants were recruited at the school for the blinds. Five of them includes; blind students and teachers who had experiences using touch screen Android smartphones in particular. The purpose of this study required that the participants must have no or very little experiences with the camera application on smartphones. The demographic data of participants are listed in Table 1.

TABLE I. DEMOGRAPHIC AND APPLICATION EXPERIENCE DATA OF PARTICIPANTS

Participants	1	2	3	4	5
Sex	M	F	F	M	F
Age	37	31	16	17	16
Position	teacher	teacher	std	std	std
Experience with smartphones	5	3	2	2	1
Experience with smartphone application	SayText, LookTel, Barcode Reader, CamFind	Barcode Reader, CamFind ,Voice Eye	SayText , Barcode Reader	Barcode Reader	Barcode Reader
Blindness type	Totally blind	Totally blind	Totally blind	Totally blind	Totally blind

* M: Male, F: Female, Std: Student

B. Tools and Software

The prototype was developed based on tools and software as follow:

- Android studio tools version 1.4 with JDK 1.7 was used as the main device to build the prototype, java programing as language to code. The device model LG L70 with 1 GB RAM, 8 GB ROM, 1.2 GHz, 5MP Camera, and Android version 4.4.2 KitKat OS as the specifications.
- Text to speech (TTS) engine is used for the purpose of reading aloud any text to speech result. There are few TTSs that support Thai language are available, namely, VAJA, SVOX and Google. Table II compared the TTS engines mentioned above. The researchers chose Google due to its free for development and usage while others have some costs.

TABLE II. COMPARISON OF TTS ENGINES

TTS Engine	Language Capacity	License	Storage required	Owner
VAJA	Thai + English	Trial 14 Days	1.1M	NECTEC
SVOX	Multiple	Trial 14 Days	2.38M	Nuance Communications, Inc.
Google	Multiple	Free	Varies with device	Google, Inc.

C. Procedure

The researchers examined the nature of blind user's mental models of banknotes recognition into two activities; explaining how is the nature of the blind when they recognize the banknotes value, and demoing how to classify the banknotes through smartphone applications. Therefore, the participants were requested to explain their methodology to recognize banknotes value in the first activity. Then they were asked to demo how to classify the banknotes value via camera application in order to describe usability problems while using it. The interviewed technique was applied to collect data which later was prepared to analyze mental model of participants before designing the prototype.

First activity: Explaining, each participant was asked to explain methodology to identify banknotes value by the questions:

1. How do you identify the banknotes?
2. Do you use the application for banknotes reader?
3. Do you have any experiences or skills of how to use camera on smartphone?

Second activity: Demoing, how to use camera application on smartphone. Participants who had installed banknotes reader or text reader application were pleased to use the application to demo how they use them. The questions were asks to examined the usability problems while using the application. The question were as follow:

1. What problems do you face while using camera application on smartphone?
2. What problems do you face while taking a photo?

4. What is in your mind about banknotes recognition application?

5. What feature do you think for a good feature should have for banknotes recognition application?

D. Analysis

Each participant was interviewed separately. We got various answer from them. The methodologies that they use to recognize banknotes value were different, which can be classified into 3 methods. First, participants who were students normally use size comparable method to identify the value of banknotes. They kept all type of banknotes into their wallet. When they wanted to use, they would compare the size of banknotes in their wallet. Second, participants who used their personal skills to recognize banknotes value by familiarizing the touching of the banknotes. Third, the participants who said the best accuracy method is through measurement by the ruler. However, this method takes time for the measurement process. Since the blinds have to fold each banknotes, then insert into the ruler and compare size on the ruler bar that provided braille result to recognize value of banknotes. Besides that the ruler is scarce, and not available in the market. This method is rare to be used as the reasons mentioned above.

On the other hand, some participants also had experiences using banknotes reader application called LookTel Money. The application is embedded with camera on smartphone, which is used to capture banknotes pictures and speak aloud the value to users. However, the application is not supported Thai banknotes. Thus, it cannot tell the real value but can only tell that the picture of banknotes. These participants who had no experiences with banknotes reader application yet they have little experiences to use some other mobile applications such as SayText, CamFind, VoiceEye, and QR/Barcode reader applications.

In addition, the participants are pleased to demo how to use camera application on smartphone and explained the problems face while using it. The main problem of using camera application is capturing the image. It's very difficult for them to focus on object, to point correct position, to point touch button and control the lights. Only one participant who had photography skill which he could capture a good image. Whereas other participants took a blurry image and pointed over the object. All of the above mentioned are the results of the methods, which explain how the blinds recognize banknotes value mainly depended on their experiences. Consequently, the prototype should be designed and developed to support those blind users who have very less experiences of banknotes value recognition. This is because the developed application will be able to meet the largest group of blind users.

Fig. 1. One participant who is a teacher explaning how to use camera application.

As a summary, the mental model of blinds' mobile application for banknotes recognition should be useful, easy and available. The application features should be automatic like the feature of barcode reader application, which can scan banknotes and speak value voice in a real time. The applications should be very simple and avoid the complicated functions especially for the camera. Based on the result of this mental model for the blind users, the researchers will design to develop the application of Thai banknotes recognition for mobile application in the next section.

IV. The Prototype of Real-Time Recognition of Thai Banknotes : The Blinds' Mobile Application

Architecture design: the prototype was developed on mobile system which use the Vocal User Interface (VUI) is for users' interaction with the applications. The embedded camera function capacity on smartphone was used to detect the banknotes images. Then applying image processing technique to recognize the value of banknotes when comparing with banknotes database. Fig 2 summarizes the components architecture schema of the application prototype.

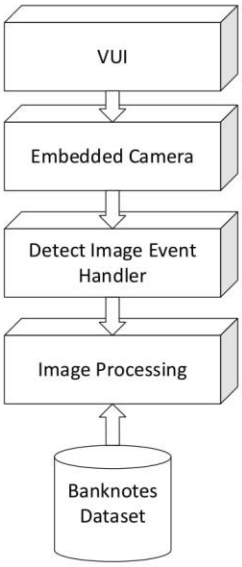


Fig. 2. Architecture schema of the prototype

- Vocal user interface (VUI) exploits TTS engine which sythesizes the speech for result value of banknotes such as ("500 Baht") and describing how to use application by saying ("Please point camera to banknotes…").

- Embedded Camera is the device which embeeded on smartphone to take or detect photo into application. The specification of this device affects to result of images. We suggested that the resolution whould be over 5 mega pixel.

- Detect Image Event Handler is the module that catchs the events which detected images by the camera. This module is detected image frames from preview camera. Then, send it to image processing module for processing in the next step.

- Image Processing is the module that process image from camera to recognize the value of banknotes. In this module, using image processing techniuqe to extract feature from image and then compare and macthing with features of each banknotes template in database. The researchers will implement the more completed system in next future work. In this study, image processing module was generated by mock up code in programing.

- Banknotes Dataset is set of each banknote that stores the future class of each banknotes templates in database. This module works with image processing module. The researchers will implement the more completed system in next future work as same as image processing module.

Interaction workflow design : Interaction workflow of prototype is based on the result of user's mental model in the analysis section. The main features from the blind users' mental model is automatic image capturing and real time processing. Fig 3, shows the flow of launch application when users interact with it. The appplication begins to initial TTS engine and say welcome message to users. During TTS engine is working, the background process of system is on the camera function in order to set the preview camera on smartphone. When preview camera is started, the instruction message is spoken aloud to users such as "Please point camera to banknotes picture". Users follow up instruction message then the system returns result value of banknotes to users for example "100 Baht". (Use mock up processing to code the timer to 5 second.) The developed prototype can be seen as Fig.4.

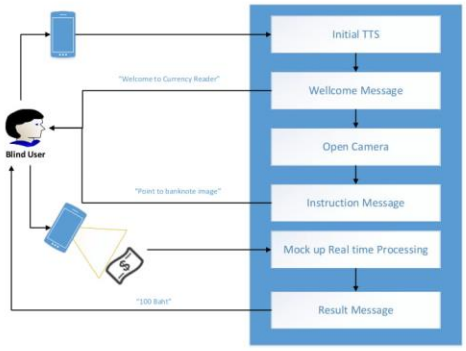


Fig. 3. Interaction workflow design of the prototype

Fig. 4. Example of our prototype that follow up user's mental model

V. Conclusion and Future Work

This study has successfully applied the mental model to look for usability concerns for the blinds when developing the mobile application for them in the case of Thai banknotes recognition. The researchers found that the mental model is very useful tool to assist the system developer to understand how the users cognitive idea when developing the application. For the blind system users' mental model, it should be useful, easy, and available. For example, providing some automation features which could facilitate their impairment challenges like text to speech in assisting them for the direction of features and functions related to the applications.

The researchers believe that this prototype has several limitations that need to be improved for the better version in the future. Therefore, it will be sent to the blind users to do usability testing and find more usability concerns for the future improvement of the application.

References

[1] Bennett Kankuzi, Jorma Sajaniemi, 2015. "A mental model perspective for tool development and paradigm shift in spreadsheets"Int. J. Human-Computer Studies 86 (2016) 149–163.

[2] Carroll, J.M., Olson, J.R., Anderson, N.S., 1987. "Mental Models in Human–Computer Interaction: Research Issues About What the User of Software Knows" National Academy Press, Washington, DC, USA.

[3] Davidson, M. J., Dove, L., & Weltz, J. (1999, Nov 15). Mental Models and Usability. Cognitive Psychology, p. 404.

[4] Doyle, J.K., Ford, D.N., 1998. "Mental models concepts for system dynamics research "Syst. Dyn. Rev. 14, 3–29.

[5] Fakrudeen, M., et al. "Analysing the mental model of blind users in mobile touch screen devices for usability." Proceedings of the World Congress on Engineering. Vol. 2. 2013.

[6] Halford, Graeme S. Children's understanding: The development of mental models. PsychologyPress, 2014.

[7] Johnson-Laird, P. (2005). Mental Models and Thought. In K. J.Morrison, The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning (pp.185-208).

[8] Kurniawan, Sri Hastuti, Alistair G. Sutcliffe, and Paul Blenkhorn. "How Blind Users' Mental Models Affect Their Perceived Usability of an Unfamiliar Screen Reader." INTERACT. Vol. 3. 2003.

[9] Kurniawan, Sri H., et al. "Investigating the usability of a screen reader and mental models of blind users in the Windows environment." International Journal of Rehabilitation Research 26.2 (2003): 145-147.

[10] Marhan, Ana Maria, et al. "A review of mental models research in child-computer interaction." Procedia-Social and Behavioral Sciences 33 (2012): 368-372.

[11] Rouse, W.B., Morris, N.M., 1986. "On looking into the black box: prospects and limits in the search for mental models" Psychol. Bull. 100, 349–363.

[12] Siti Nur Syazana Mat Saei, Suziah Sulaiman, Halabi Hasbullah. "Mental Model of Blind Users toAssist Designers in System Development".978-1-4244-6716-7/10/$26.00©2010IEEE.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุรีย์พร อังสุภานิช
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5710121085
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)
ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน (ถ้ามี)
นักวิชาการคอมพิวเตอร์ ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน (ถ้ามี)
S. Angsupanich and S. Matayong, "Applying the mental model for real-time recognition of Thai banknotes: The blinds' mobile application", in The 3rd International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS 2016), Kuala lumpur, Malasia, Aug 2016, pp. 86-90.