

การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานแคปต์ชารูปอาหาร Usability Evaluation of Food-Related Picture CAPTCHA

ณัฐนันท์ หงส์วรสิทธิ์*

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

พรพิมล รัมมณุดม

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Nuttanont Hongwarittorn*

Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Pornpimol Ramonudom

National Electronics and Computer Technology Center, National Science and Technology

Development Agency, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

แคปต์ชา (CAPTCHA) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการพิสูจน์ตัวตนว่าผู้ที่เข้ามาใช้งานต้องเป็นมนุษย์จริงไม่ใช่โปรแกรมอัตโนมัติ แคปต์ชาแบบตัวอักษรได้ถูกนำมาใช้งานมากที่สุด แต่เนื่องจากลักษณะของตัวอักษรที่บิดเบี้ยวนั้น บางครั้งทำให้ผู้ใช้เกิดความสับสน ในงานวิจัยนี้จึงเสนอแคปต์ชารูปอาหาร (food-related picture CAPTCHA) ซึ่งเป็นแคปต์ชาแบบรูปภาพ การออกแบบประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ประเภทภาพคำถาม (ภาพสีและภาพขาวดำ) และรูปแบบคำถาม (คำถาม ingredient และคำถาม food) โดยทดลองแบบ between-subject design กับผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 160 คน ประเมินผลประสิทธิภาพด้านการใช้งานจากคะแนนความถูกต้อง เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยนำแคปต์ชารูปอาหารมาทดลองเปรียบเทียบกับ Asirra CAPTCHA (แคปต์ชาแบบรูปภาพของ Microsoft ที่ใช้ภาพหมากับแมว) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแคปต์ชารูปอาหารใช้เวลาในการเข้าสู่ระบบน้อยกว่า Asirra CAPTCHA และมีคะแนนความถูกต้องและความพึงพอใจมากกว่าด้วย

คำสำคัญ : แคปต์ชา; ประเภทภาพคำถาม; รูปแบบคำถาม

*ผู้รับผิดชอบบทความ : nth@cs.tu.ac.th

Abstract

CAPTCHA (completely automated public, turing test to tell computers and humans apart) is an automated test to ensure that the user is a human, not computer programs. It can help to protect against automated bots from abusing online services. Most of CAPTCHAs deployed are text-based. The more distorted text-based CAPTCHAs are to increase security. However, their distorted and complicated characters could also make it difficult for human to decode. This research proposed a new image-based CAPTCHA, called Food-Related Picture CAPTCHA. There were two factors considered in the design. One was the image type (color images and black-white images) and the other was the question type (ingredient questions and food questions). The between-subject design experiment was run with 160 participants. The proposed CAPTCHA was evaluated in terms of usability (accuracy, response time and user satisfaction) and, compared to the usability of Asirra CAPTCHA, which is based on dog-cat images. The result also showed that the food-related picture CAPTCHA had better accuracy, lower response time and higher satisfaction than the Asirra CAPTCHA.

Keywords: CAPTCHA; the image type; the question type

1. บทนำ

ปัจจุบันอินเทอร์เน็ตมีบทบาทมากขึ้น บริการออนไลน์ส่วนใหญ่เป็นการให้บริการผ่านหน้าเว็บไซต์ ได้แก่ บัญชีอีเมลฟรี (free e-mail account) บล็อก (blog) กระดานสนทนาออนไลน์ (web board) แบบสอบถามออนไลน์ (online poll) เป็นต้น บางบริการสามารถพิมพ์ข้อความสื่อสารโต้ตอบกันผ่านระบบกระดานสนทนาแบบออนไลน์ได้ ทำให้เกิดความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร ในขณะเดียวกันก็เป็นการเปิดโอกาสให้บุคคลที่ไม่หวังดีบางกลุ่มหรือที่เรียกว่า แฮกเกอร์ (hacker) อาศัยช่องทางนี้โจมตีเว็บไซต์ผู้ให้บริการด้วยโปรแกรมอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ การสมัครลงทะเบียนสร้างบัญชีอีเมลการใช้งานจำนวนมาก การส่งสแปมหรือข้อความโฆษณาต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ไม่ได้ร้องขอเป็นจำนวนมาก และการเพิ่มคอมเมนต์จำนวนมากในเว็บบล็อกเพื่อให้ได้รับ rank ที่สูงจาก search engine เป็นต้น ทำให้ระบบบริการออนไลน์เหล่านั้น

ขาดความน่าเชื่อถือ ผู้ให้บริการออนไลน์จึงจำเป็นต้องหาวิธีการป้องกันการโจมตีจากโปรแกรมอัตโนมัติด้วยวิธีการพิสูจน์ตัวตนของผู้ที่เข้ามาใช้งานว่าต้องเป็นมนุษย์จริงไม่ใช่โปรแกรมอัตโนมัติ เครื่องมือหนึ่งที่ได้รับคามนิยมและถูกออกแบบขึ้นมาสำหรับป้องกันและลดอัตราการโจมตีของโปรแกรมอัตโนมัติผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เรียกว่า “แคปทชา (CAPTCHA)” ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบการเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์แบบโต้ตอบชนิดหนึ่ง เพื่อแยกแยะว่าผู้ใช้งานเป็นมนุษย์หรือโปรแกรมอัตโนมัติ [1] แคปทชาแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ (1) แคปทชาแบบตัวอักษร (text-based) (2) แคปทชาแบบรูปภาพ (image-based) (3) แคปทชาแบบเสียง (sound-based) (4) แคปทชาแบบวิดีโอ (video-based)

แคปทชาทั้ง 4 ประเภท นี้ แคปทชาแบบตัวอักษรได้ถูกนำมาใช้งานมากที่สุด โดยจะให้ผู้ใช้งานพิมพ์ตัวอักษรตามที่ปรากฏให้ถูกต้อง แต่วิวัฒนาการ

ทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) ที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้มีการพัฒนาโปรแกรมโอซีอาร์ (OCR) ที่สามารถอ่านชุดตัวอักษรแคปซันได้ ผู้ที่พัฒนาแคปซันจึงเพิ่มการบิดเบี้ยวหรือเพิ่มสิ่งรบกวนให้มากขึ้น แต่ก็ทำให้การใช้งานยากขึ้นด้วย [2] จากปัญหาดังกล่าวจึงนำไปสู่การพัฒนาแคปซันแบบรูปภาพ เนื่องจากการจำแนกภาพของโปรแกรมอัตโนมัติยังไม่สามารถทำได้เทียบเท่ากับมนุษย์ในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้สำรวจความคิดเห็นผู้ใช้ในการใช้งานแคปซันเปรียบเทียบระหว่างแคปซันแบบตัวอักษรและแคปซันแบบรูปภาพ เพื่อต้องการทราบว่าแคปซันแบบไหนที่มีการใช้งานได้ง่ายและปลอดภัยจากโปรแกรมอัตโนมัติ พบว่าผู้ใช้มีความคิดเห็นในการเลือกใช้งานแคปซันแบบรูปภาพมากกว่าแคปซันแบบตัวอักษร และมีความคิดเห็นในการตอบคำถามโดยใช้เมาส์คลิกมากกว่าใช้แป้นพิมพ์ [3] ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกพัฒนาแคปซันแบบรูปภาพ และเพื่อให้แคปซันที่พัฒนาขึ้นมีการใช้งานได้ง่ายและมีความปลอดภัยมากขึ้น รูปภาพที่นำมาใช้เป็นแคปซันควรเป็นภาพที่ผู้ใช้พบเห็นได้ทั่วไป สามารถเข้าใจได้ง่าย แต่ควรเป็นภาพที่มีความซับซ้อนที่ยากต่อโปรแกรมอัตโนมัติในการวิเคราะห์ จึงเลือกรูปภาพอาหารหรือสิ่งที่กินได้ ประกอบกับการใช้คำถามเกี่ยวกับรูปภาพแคปซันควรเป็นคำถามเชิงความหมาย (semantic) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มระดับความปลอดภัยมากขึ้น การถามคำถามเกี่ยวกับอาหารไม่น่าจะเป็นเรื่องยากสำหรับมนุษย์ แต่สำหรับโปรแกรมอัตโนมัติอาจเป็นเรื่องยากเพราะต้องมีความสามารถ 4 ประการ คือ ต้องเข้าใจภาพคำถาม ต้องเข้าใจคำถาม ต้องเข้าใจภาพตัวเลือก ต้องเลือกภาพที่เป็นคำตอบได้ จึงจะสามารถตอบแคปซันได้ถูกต้อง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการรับรู้

งานวิจัยนี้จะเน้นทักษะด้านการรับรู้ภาพหรือการมองเห็น (visual perception) ของมนุษย์กับคอมพิวเตอร์มีความแตกต่างกัน ซึ่งมนุษย์มีการรับรู้ภาพโดยอาศัยประสบการณ์และพื้นฐานความรู้เดิมมาประมวลผลร่วมกับสิ่งที่มองเห็น แต่คอมพิวเตอร์จะรับรู้ภาพจากการคัดลอกตามลักษณะที่เห็นอย่างตรงไปตรงมา [4] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงอาศัยทักษะพื้นฐานการรับรู้ของมนุษย์มาร่วมพัฒนาแคปซันแบบรูปภาพเพื่อให้ได้แคปซันแบบรูปภาพที่ง่ายต่อการใช้งานแต่ยากสำหรับโปรแกรมอัตโนมัติ โดยการรับรู้ของมนุษย์จะใช้ประสบการณ์และความรู้เดิมเป็นเครื่องมือในการคิด การตีความ และการเข้าใจสิ่งเร้าหรือสิ่งต่าง ๆ ซึ่งคอมพิวเตอร์หรือโปรแกรมอัตโนมัติไม่สามารถทำได้ อาหารถือว่าเป็นสิ่งหนึ่งที่มนุษย์คุ้นเคยและส่วนใหญ่มีประสบการณ์เกี่ยวกับอาหารกันทุกคน การนำภาพที่เกี่ยวข้องกับอาหารมาสร้างแคปซันนี้จะทำให้มนุษย์สามารถใช้งานได้ง่ายและปลอดภัยจากโปรแกรมอัตโนมัติ โดยวัตถุดิบหรือส่วนประกอบของอาหารบางอย่างถึงแม้จะไม่เห็นในรูปแต่มนุษย์ก็สามารถตอบได้ ในขณะที่โปรแกรมอัตโนมัติไม่สามารถตอบได้หรือแม้แต่จะวิเคราะห์หารายละเอียดจากภาพโดยตรงยังทำได้ยาก ตัวอย่าง เช่น ผัดไทย ลาบหมู จะมีส่วนผสมน้ำตาล พริกป่น หรือไม่ นับเป็นเรื่องยากมากที่โปรแกรมอัตโนมัติจะตอบได้

2.2 ทฤษฎีระดับของการประมวลผล

การจำของมนุษย์ขึ้นอยู่กับระดับของกระบวนการจัดการข้อมูล จะประมวลผลจากระดับพื้นฐาน (shallow level) ไปสู่ระดับลึก (deep level) [5] โดยการประมวลผลระดับพื้นฐานมีการดึงข้อมูลเฉพาะลักษณะทั่วไปมาประมวลผลโครงสร้างทางกายภาพ (structural processing) หรือเป็นการประมวลผลเสียง (acoustic processing) ส่วนการ

ประมวลผลในระดับลึกพบว่าข้อมูลจะถูกจำได้เป็นอย่างดีมีระเบียบและในอนาคตมีโอกาที่จะถูกเรียกใช้งานสูงหรือยังการประมวลผลลึกมากเท่าใดการเก็บจำ

ยิ่งดีมากขึ้นเท่านั้น เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความหมาย (semantic processing) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับการประมวลผล (level of processing)

Level of processing	Question	Answer	
		Yes	No
Structural (<i>looks</i>)	Is the word in capital letters?	TABLE	table
Acoustic (<i>sounds</i>)	Does the word rhyme with WEIGHT?	crate	MARKET
Semantic (<i>means</i>)	Would the word fit the sentence: "He met a ... in the street"?	FRIEND	cloud

งานวิจัยของ Shahreza และ Shahreza [6] ได้สร้างแคปช่าคำถาม โดยการสร้างคำถามจะมีการผสมทั้งตัวอักษรและรูปภาพร่วมกัน และการที่จะสามารถเข้าใจคำถามและตอบได้ถูกต้องนั้น ต้องอาศัยทั้งประสบการณ์และความรู้เดิมร่วมประมวลผลตีความตามความเข้าใจ ซึ่งมนุษย์น่าจะสามารถทำได้ดีกว่าโปรแกรมอัตโนมัติ ดังนั้นหากออกแบบแคปช่าแบบรูปภาพร่วมกับคำถาม จะสามารถป้องกันโปรแกรมอัตโนมัติไม่ให้ผ่านเข้าสู่ระบบได้ง่าย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แคปช่าแบบตัวอักษร (text-base) เป็นแคปช่าที่ได้รับความนิยมนำมาใช้มาก โดยจะให้ผู้ใช้งานพิมพ์ตัวอักษรตามที่ปรากฏให้ถูกต้อง Ahn [7] ได้พัฒนาแคปช่าแบบตัวอักษรที่เรียกว่า "Recaptcha" โดยสร้างชุดอักษรด้วยการสแกนตัวอักษรจากหนังสือเก่า แล้วเก็บลงฐานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานพิมพ์คำตอบเข้ามาจะนำไปเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่สามารถป้องกันโปรแกรม OCR ได้ แต่เนื่องจากลักษณะตัวอักษรที่บิดเบี้ยวและสิ่งรบกวนที่มากจนเกินไป ทำให้ผู้ใช้ระบุตัวอักษรได้ยากหรือบางครั้งไม่สามารถตอบแคปช่าได้ถูกต้อง Mori [8] ได้ออกแบบแคปช่าตัวอักษรที่เรียกว่า "Gimpy CAPTCHA" เพื่อ

ป้องกันข้อความจำพวกสแปมในระบบห้องสนทนาของ <http://www.yahoo.com> โดยสุ่มเลือกคำภาษาอังกฤษจากพจนานุกรมจำนวนเจ็ดคำ มาทำตัวอักษรให้บิดเบี้ยวและซ้อนทับกันจำนวนห้าคู่ และให้ผู้ใช้งานตอบคำถามด้วยการพิมพ์ตัวอักษรตามที่เห็นจำนวนสามคำให้ถูกต้อง แต่ลักษณะตัวอักษรที่บิดเบี้ยวและซ้อนทับกันมากจนเกินไป ทำให้ผู้ใช้งานตอบผิดได้ ส่วนแคปช่าแบบรูปภาพ (image-based) จะให้ผู้ใช้พิมพ์คลิก หมุน หรือเคลื่อนย้ายรูปภาพให้ถูกต้อง มีงานวิจัยที่พัฒนาแคปช่าแบบรูปภาพเป็นจำนวนมาก เช่น Gossweiler [2] ได้ออกแบบแคปช่าแบบรูปภาพ ซึ่งผู้ใช้งานต้องใช้เมาส์หมุนภาพให้อยู่ตำแหน่งที่ถูกต้อง แต่ควรหลีกเลี่ยงการแทรกตัวอักษรภายในรูปภาพ การใช้ภาพหน้าคนหรือภาพที่มีพื้นท้องฟ้า Elson [9] ได้ออกแบบแคปช่าแบบรูปภาพ ซึ่งผู้ใช้งานต้องใช้เมาส์คลิกเลือกภาพจากจำนวน 12 ภาพ ที่เป็นภาพแมวหรือสุนัขที่เป็นภาพสัตว์ประเภทเดียวกับภาพตัวอย่าง แต่ภาพที่นำมาใช้มีเพียงแมวกับสุนัข ภาพไม่หลากหลายทำให้สร้างแคปช่าได้ไม่มากพอ Vikram [10] ได้ออกแบบแคปช่าแบบรูปภาพ ซึ่งผู้ใช้งานต้องใช้เมาส์คลิกเลือกภาพจากจำนวน 6 ภาพ ที่เป็นภาพจริงกับภาพการ์ตูนเพื่อจับคู่ภาพ 2 ภาพที่เหมือนกัน แต่

ปัญหาภาพการ์ตูนบางภาพที่นำมาจับคู่มีความใกล้เคียงกัน (กำกวม) ทำให้ผู้ใช้งานตอบผิดได้

3. แคปท์เข้ารูปอาหาร

งานวิจัย [11] ทำให้ทราบว่า การใช้ภาพอาหารเป็นแคปท์จะทำให้มนุษย์สามารถใช้งานได้ง่าย เนื่องจากทักษะความเป็นมนุษย์ที่สามารถแยกแยะได้ว่าจะอะไรที่ควรนำมาประกอบเป็นอาหารหรืออะไรที่ไม่ควรนำมาประกอบเป็นอาหาร งานวิจัยนี้ได้สร้างแคปท์เข้ารูปภาพ โดยเลือกรูปภาพอาหารหรือสิ่งที่กินได้ เพราะเป็นภาพที่ผู้ใช้พบเห็นได้ทั่วไป สามารถเข้าใจได้ง่าย และเป็นภาพที่มีความซับซ้อนที่ยากต่อโปรแกรมอัตโนมัติในการวิเคราะห์แยกแยะรายละเอียดย่อยภายในภาพได้อย่างที่มนุษย์สามารถทำได้ เช่น ภาพกึ่งก่อนที่จะถูกแปรรูป (กึ่งสด) หรือหลังจากที่ถูกแปรรูปแล้ว (กึ่งต้ม) แต่ยังคงมีความหมายเป็นภาพกึ่งเหมือนเดิม อีกทั้งยังมีการนำทฤษฎีระดับการประมวลผล (levels of processing theory) ในระดับความหมาย (semantics processing) เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างคำถามร่วมกับแคปท์ที่พัฒนาขึ้น จึงทำให้ยากต่อโปรแกรมอัตโนมัติที่จะทำความเข้าใจ แต่มนุษย์ยังสามารถเข้าใจได้ แคปท์ขานี้ยังได้เพิ่มความปลอดภัยด้วยการสุ่มจำนวนคำถามและสุ่มจำนวนคำตอบที่หลากหลาย เพื่อให้โปรแกรมอัตโนมัติเดาสุ่มคำตอบได้ยากขึ้น การศึกษาครั้งนี้ได้มีการออกแบบส่วนของการตอบคำถามเป็น ListBox สุ่มจำนวนตัวเลือก (option) ไม่เกิน 6 ตัวเลือก เพื่อความเหมาะสมในการทดลองและการเลือกตอบคำถาม

3.1 การเลือกภาพ

การเลือกภาพที่ใช้สร้างแคปท์จะเลือกภาพอาหารหรือสิ่งที่กินได้ เพราะเป็นสิ่งที่มนุษย์คุ้นเคยสามารถเข้าใจได้ง่าย [11] และสามารถพบเห็นได้ตามตำรับอาหารทั่วไป จะไม่มีวัตถุดิบหรือส่วนประกอบที่

ไม่ได้ทานตามปกติทั่วไปหรือผิดทางศาสนาที่ไม่อนุญาตให้รับประทาน เช่น เนื้อม้า เนื้อช้าง อีกทั้งการเลือกใช้ภาพอาหารหรือสิ่งที่กินได้นี้ยังทำให้ โปรแกรมอัตโนมัติตรวจจับได้ยาก เนื่องจากไม่น่าจะวิเคราะห์แยกแยะหารายละเอียดย่อยภายในภาพได้อย่างที่มนุษย์สามารถทำได้ ภาพที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของภาพคำถาม ได้แก่ ภาพอาหารคาว ภาพวัตถุดิบ และอีกส่วนเป็นภาพตัวเลือก โดยถ้าภาพคำถามเป็นอาหารคาวแล้วภาพตัวเลือกที่จะสามารถปรากฏได้ คือ ภาพวัตถุดิบ ภาพอาหารหวาน และสิ่งที่มนุษย์สามารถกินได้ แต่ถ้าภาพคำถามเป็นวัตถุดิบแล้วภาพตัวเลือกที่จะสามารถปรากฏได้คือ ภาพอาหารคาว ภาพอาหารหวาน และสิ่งที่มนุษย์สามารถกินได้

3.2 การตรวจสอบการป้องกันโปรแกรมอัตโนมัติ

การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันโปรแกรมอัตโนมัติเลือกใช้เว็บไซต์กูเกิ้ล (Google Image Search) ที่ใช้เทคนิค bag of features (BOF) ในการสร้างคำอธิบายรูปภาพ เพื่อทดสอบว่าเว็บไซต์กูเกิ้ลสามารถสร้างคำอธิบายให้กับรูปภาพได้หรือไม่ และเพียงพอไหมที่จะตอบแคปท์ขานี้ได้ถูกต้อง ถึงแม้ว่าเว็บไซต์กูเกิ้ลจะสามารถสร้างคำอธิบายรูปภาพได้ว่าคือรูปอะไร แต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะตอบแคปท์เข้ารูปอาหารนี้ได้ถูกต้อง

4. วิธีการทดลอง

4.1 ตัวแปรและสมมติฐาน

งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างแคปท์เข้ารูปอาหารและ Asirra CAPTCHA

4.1.1 ตัวแปรต้น คือ แคปท์เข้ารูปอาหารและ Asirra CAPTCHA โดยแคปท์เข้ารูปอาหารออกแบบจาก 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยประเภทภาพคำถาม (ภาพสี

หรือภาพขาวดำ) และปัจจัยรูปแบบคำถาม (คำถามที่ให้หาภาพวัตถุดิบ (ingredient) หรือคำถามที่ให้หาภาพอาหาร (food))

4.1.2 ตัวแปรตาม คือ คะแนนความถูกต้อง โดยวัดจากการนับจำนวนคำตอบที่ถูกต้อง เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบโดยมีหน่วยวัดเป็นวินาที และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

4.1.3 สมมติฐาน คือ แคปต์ชารูปอาหารมีคะแนนความถูกต้อง เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ดีกว่า Asirra CAPTCHA

4.2 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ between-subject design ประกอบด้วยกลุ่มควบคุม 1 กลุ่ม คือ Asirra CAPTCHA และกลุ่มทดลอง 4 กลุ่ม คือ แคปต์ชารูปอาหาร โดยผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะได้รับมอบหมายให้ทำกลุ่มทดลองเพียงกลุ่มเดียว ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองเปรียบเทียบแคปต์ชารูปอาหารและ Asirra CAPTCHA

กลุ่มทดลอง			กลุ่มควบคุม
แคปช์ชาารูอาหาร			Asirra CAPTCHA
ประเภท	รูปแบบคำถาม		
ภาพคำถาม	Ingredient	Food	
ภาพสี	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	
ภาพขาวดำ	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	

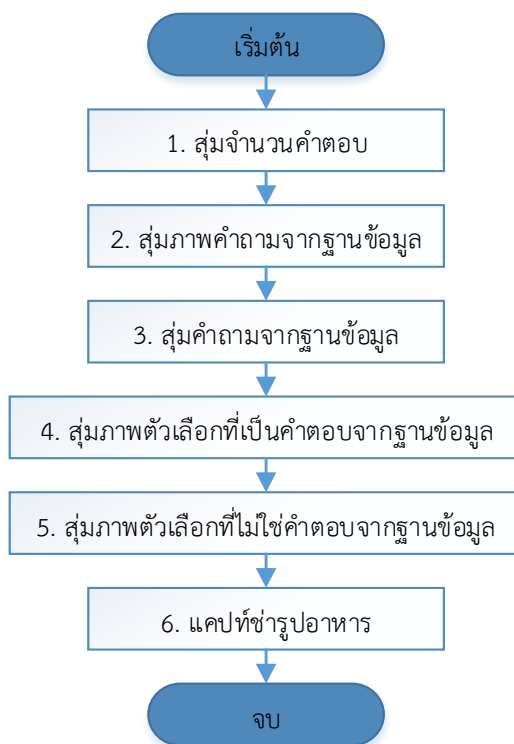
4.3 ข้อมูลผู้เข้าร่วมการทดลอง

งานวิจัยนี้มีผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 160 คน แบ่งผู้เข้าร่วมการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำแคปต์ชารูปอาหารจำนวน 80 คน แบ่งเป็นกลุ่ม

กลุ่มละ 20 คน และอีก 80 คน เป็นกลุ่มควบคุมหรือส่วนที่ทำแคปต์ชารูปภาพหมาแมวของ Asirra (Asirra CAPTCHA) ซึ่งผู้เข้าร่วมการทดลองในแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยนักศึกษาระดับปริญญาตรีและบุคคลทั่วไป และทุกคนไม่เป็นผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตา (ตาบอดสี)

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เว็บไซต์สั่งอาหารที่ใช้ในการทดลองนี้พัฒนาด้วยภาษา PHP, JAVASCRIPT และ HTML ในส่วนของคำตอบและเวลาที่ใช้งานสำหรับการผ่านเข้าสู่ระบบจะถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูล MySQL หลังจากทดลองเสร็จสิ้นแล้วผู้เข้าร่วมการทดลองต้องทำแบบสอบถามที่ผู้พัฒนาสร้างขึ้นเพื่อเก็บความคิดเห็น ความพึงพอใจ และข้อเสนอแนะต่าง ๆ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 Flow chart การทำงานของแคปต์ชารูปอาหาร

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มจำนวนคำตอบ โดยจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่จะถูกสุ่มขึ้นมา คือ 2, 3, 4, 5

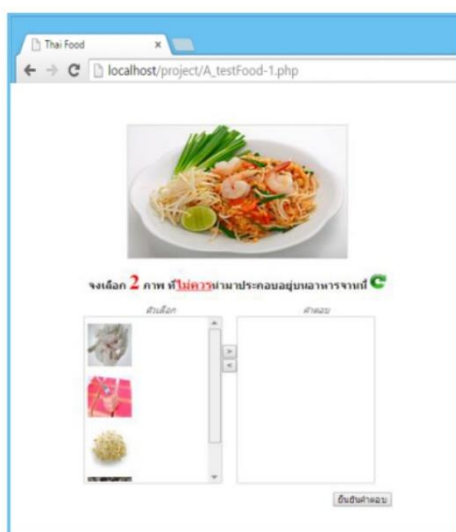
ขั้นตอนที่ 2 สุ่มภาพคำถามจากฐานข้อมูล โดยภาพคำถามมี 4 แบบ คือ (1) ภาพอาหารคาวสี (2) ภาพวัตถุดิบสี (3) ภาพอาหารคาวขาวดำ และ (4) ภาพวัตถุดิบขาวดำ

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มคำถามจากฐานข้อมูล โดยรูปแบบคำถามมี 2 แบบ คือ (1) คำถาม ingredient จะปรากฏคำถามนี้ก็ต่อเมื่อมีภาพคำถามเป็นภาพอาหารคาว และ (2) คำถาม food จะปรากฏคำถามนี้ก็ต่อเมื่อมีภาพคำถามเป็นภาพวัตถุดิบ

ขั้นตอนที่ 4 สุ่มภาพตัวเลือกที่เป็นส่วนประกอบของภาพคำถามที่ปรากฏ

ขั้นตอนที่ 5 สุ่มภาพตัวเลือกที่ไม่เป็นส่วนประกอบของภาพคำถามที่ปรากฏ

ขั้นตอนที่ 6 แสดงหน้าเว็บเพจแคปท์ชารูปอาหาร ดังรูปที่ 2 เมื่อผู้เข้าร่วมการทดลองอ่านคำถามเสร็จแล้วจะต้องตอบคำถามด้วยการใช้เมาส์คลิกจำนวนคำตอบที่ถูกต้องทั้งหมด จึงจะสามารถผ่านเข้าสู่ระบบได้



รูปที่ 2 หน้าจอการทำงานของแคปท์ชารูปอาหาร

4.5 ระเบียบวิธีในการทดลอง

ก่อนจะเริ่มทดลอง ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องอ่านคำชี้แจงเกี่ยวกับการใช้งานระบบสั่งอาหาร และจะทราบเพียงว่าเป็นการทดลองเพื่อทดสอบเกี่ยวกับความเข้าใจในภาพ จากนั้นผู้เข้าร่วมการทดลองต้องคลิกเลือกรายการอาหาร แล้วระบบจะแสดงหน้าเว็บเพจที่มีแบบทดสอบขึ้นมา ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องตอบหรือทำแบบทดสอบไปเรื่อย ๆ จบครบ 4 ข้อ ซึ่งผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละคนจะได้รับมอบหมายให้ทำเพียงรูปแบบเดียว และจะมีการเก็บคำตอบ เวลาที่ใช้งาน ตั้งแต่ข้อที่ 2-4 เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนข้อที่ 1 ถือเป็นการฝึกทดลองใช้งานแบบทดสอบเพื่อสร้างความคุ้นเคยให้กับผู้เข้าร่วมการทดลอง สุดท้ายหลังจากทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ผู้เข้าร่วมการทดลองต้องตอบแบบสอบถามเพื่อวัดความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อแบบทดสอบที่ได้รับมอบหมายให้ทำ

4.6 การวัดผลการทดลอง

4.6.1 ด้านคะแนนความถูกต้อง

คะแนนความถูกต้อง วัดจากการนับจำนวนคำตอบที่ตอบถูกต้อง ซึ่งแบบทดสอบแคปท์ชา มีการให้คะแนนความถูกต้องในการตอบคำถาม คือ ตอบถูกต้อง จะได้ 1 คะแนน และตอบผิด จะได้ 0 คะแนน (คะแนนเต็ม 3 คะแนน) โดยรูปแบบที่ดีที่สุดจะมีคะแนนความถูกต้องมากที่สุด

4.6.2 ด้านเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ

เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ วัดจากเวลาตั้งแต่เริ่มแบบทดสอบแคปท์ชาจนผู้ทดลองกดปุ่มยืนยันคำตอบของทุกข้อรวมกันต่อจำนวนข้อทั้งหมด มีหน่วยวัดเป็นวินาที โดยรูปแบบที่ดีที่สุดจะใช้เวลาน้อยที่สุด

$$\text{เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ} = y - x$$

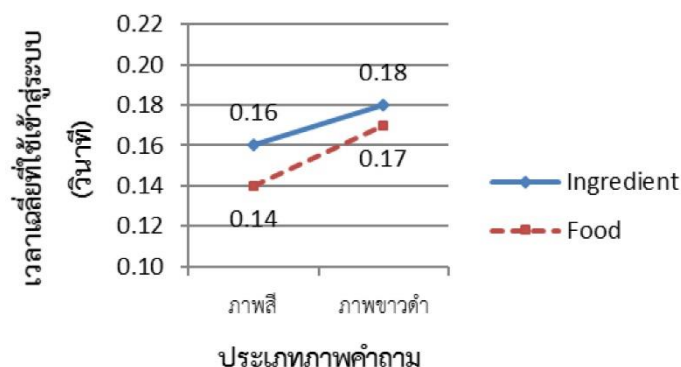
เมื่อ x คือ เวลาที่แคปท์ชาถูกแสดงขึ้น; y คือ เวลาที่ผู้เข้าร่วมการทดลองกดยืนยันคำตอบ

4.6.3 ด้านความพึงพอใจ

การวัดความพึงพอใจ จะวัดผลจากคะแนนที่ผู้เข้าร่วมการทดลองมีต่อแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้น จำนวน 5 ข้อ ได้แก่ (1) ภาพที่ใช้เข้าใจง่าย (2) ภาพที่ใช้มีความเหมาะสม (3) ภาพที่ใช้มีความชัดเจน (4) ขนาดของภาพมีความเหมาะสม และ (5) รูปแบบการตอบคำถามทำได้ง่าย โดยคะแนนความพึงพอใจจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ 5 = พึงพอใจมากที่สุด 4 = พึงพอใจมาก 3 = พึงพอใจปานกลาง 2 = พึงพอใจน้อย และ 1 = พึงพอใจน้อยที่สุด

5. ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะนำแคปช่ารูปอาหารที่พัฒนาขึ้นทั้ง 4 รูปแบบ เปรียบเทียบกับ Asirra CAPTCHA ประเมินผลประสิทธิภาพด้านการใช้งานจากคะแนนความถูกต้อง เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยใช้การวิเคราะห์สถิติเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองประชากร (independent t-test) ดังนี้



รูปที่ 3 อธิพลร่วมระหว่างประเภทภาพคำถามกับรูปแบบคำถามของคะแนนความถูกต้อง

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแคปช่ารูปอาหารมีคะแนนความถูกต้องเฉลี่ยมากกว่า Asirra CAPTCHA

5.1 ด้านคะแนนความถูกต้อง

ตารางที่ 3 ค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนความถูกต้องของแคปช่ารูปอาหาร

ปัจจัย	F	Sig.
ประเภทภาพคำถาม	0.879	0.352
รูปแบบคำถาม	0.220	0.641
ประเภทภาพคำถาม * รูปแบบคำถาม	0.000	1.000

*ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าประเภทภาพคำถามต่างกันไม่ได้ส่งผลให้คะแนนความถูกต้องต่างกัน ($P = 0.352 > 0.05$) โดยที่แคปช่าที่เป็นภาพสีจะมีคะแนนถูกต้องไม่แตกต่างกับแคปช่าภาพขาวดำ ส่วนรูปแบบคำถามไม่ได้ส่งผลให้คะแนนความถูกต้องต่างกัน ($P = 0.641 > 0.05$) และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างประเภทภาพคำถามกับรูปแบบคำถามที่มีต่อคะแนนความถูกต้อง ($P = 1.000 > 0.05$) ดังรูปที่ 3

5.2 ด้านเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าประเภทภาพคำถามต่างกันส่งผลให้เวลาเฉลี่ยในการเข้าสู่ระบบ

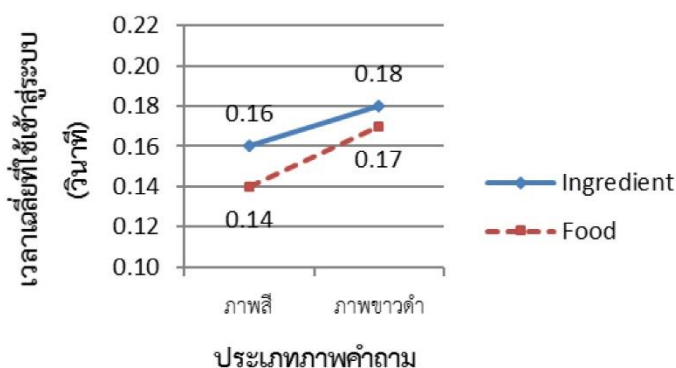
ต่างกัน ($P = 0.036 < 0.05$) โดยที่แคปช่าที่เป็นภาพสีจะช่วยให้ผู้ใช้งานใช้เวลาในการเข้าสู่ระบบได้เร็วกว่าแคปช่าภาพขาวดำ ส่วนรูปแบบคำถามไม่ได้ส่งผลให้เวลาเฉลี่ยในการเข้าสู่ระบบต่างกัน ($P = 0.158$

> 0.05) และไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างประเภทภาพคำถามกับรูปแบบคำถามที่มีต่อเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ ($P = 0.867 > 0.05$) ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความถูกต้องของแคปช่ารูปอาหารกับ Asirra CAPTCHA

รูปแบบ	Mean
(1) แคปช่ารูปอาหารที่มีภาพคำถามสีร่วมกับคำถาม ingredient	2.85
(2) แคปช่ารูปอาหารที่มีภาพคำถามสีร่วมกับคำถาม food	2.90
(3) แคปช่ารูปอาหารที่มีภาพคำถามขาวดำร่วมกับคำถาม ingredient	2.75
(4) แคปช่ารูปอาหารที่มีภาพคำถามขาวดำร่วมกับคำถาม food	2.80
Asirra CAPTCHA	2.33

*ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 4 อิทธิพลร่วมระหว่างประเภทภาพคำถามกับรูปแบบคำถามของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 5 ค่าสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบของแคปช่ารูปอาหาร

ปัจจัย	F	Sig.
ประเภทภาพคำถาม	4.577	0.036*
รูปแบบคำถาม	2.034	0.158
ประเภทภาพคำถาม * รูปแบบคำถาม	0.028	0.867

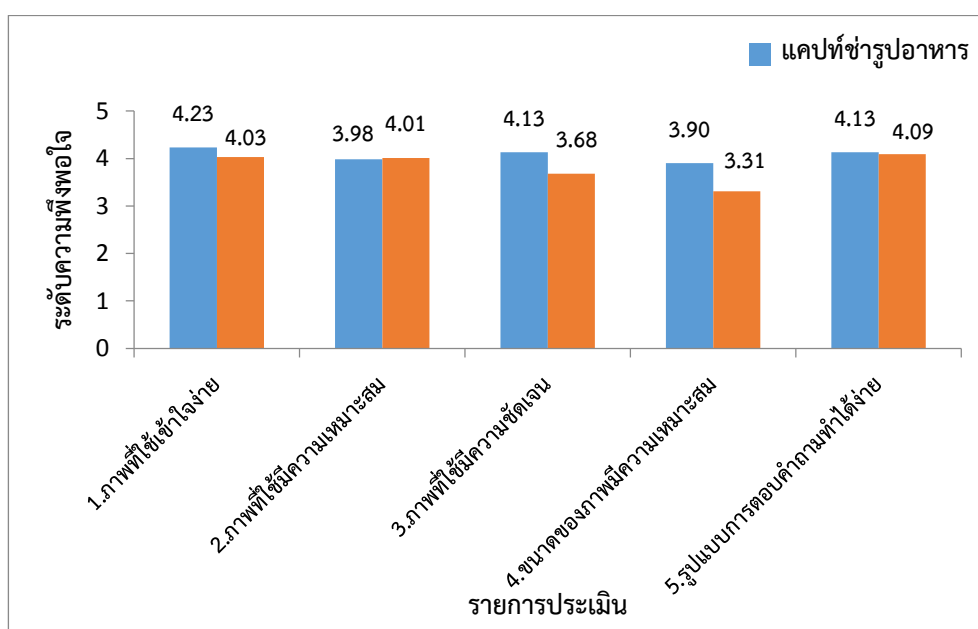
*ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าแคปช่ารูปอาหารมีผู้เข้าร่วมการทดลองที่พึงพอใจด้านภาพที่ใช้เข้าใจง่ายมากที่สุด (Mean = 4.23, S.D. = 0.60) และพึงพอใจด้านขนาดของภาพมีความเหมาะสมน้อยที่สุด (Mean = 3.90, S.D. = 0.71) ส่วน Asirra CAPTCHA มีผู้เข้าร่วมการทดลองที่พึงพอใจด้านรูปแบบการตอบคำถามทำได้ง่ายมากที่สุด (Mean = 4.09, S.D. = 0.89) และพึงพอใจด้านขนาดของภาพมีความเหมาะสมน้อยที่สุด (Mean = 3.31, S.D. = 1.10)

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบของแคปต์ชารูปอาหารกับ Asirra CAPTCHA

รูปแบบ	Mean
(1) แคปต์ชารูปอาหารที่มีภาพคำถามสีร่วมกับคำถาม Ingredient	0.16
(2) แคปต์ชารูปอาหารที่มีภาพคำถามสีร่วมกับคำถาม Food	0.14
(3) แคปต์ชารูปอาหารที่มีภาพคำถามขาวดำร่วมกับคำถาม Ingredient	0.18
(4) แคปต์ชารูปอาหารที่มีภาพคำถามขาวดำร่วมกับคำถาม Food	0.17
Asirra CAPTCHA	0.26

*ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 5 กราฟคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของด้านต่างๆ

ตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าแคปต์ชารูปอาหารมีเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบเร็วกว่า Asirra CAPTCHA

5.3 ด้านความพึงพอใจ

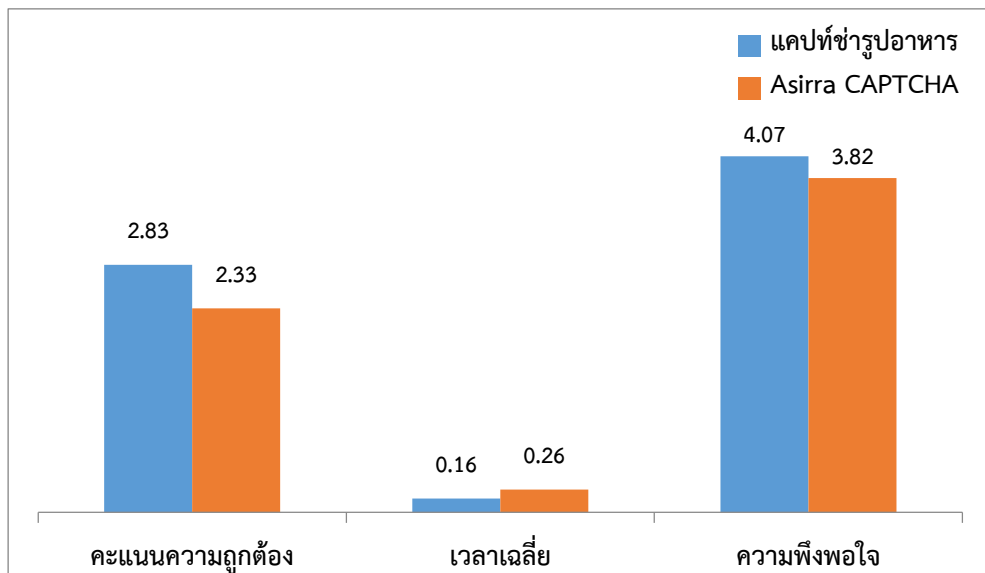
รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าแคปต์ชารูปอาหารมีผู้เข้าร่วมการทดลองที่พึงพอใจด้านภาพที่ใช้เข้าใจง่ายมากที่สุด (Mean = 4.23, S.D. = 0.60) และพึงพอใจด้านขนาดของภาพมีความเหมาะสมน้อยที่สุด (Mean

= 3.90, S.D. = 0.71) ส่วน Asirra CAPTCHA มีผู้เข้าร่วมการทดลองที่พึงพอใจด้านรูปแบบการตอบคำถามทำได้ง่ายมากที่สุด (Mean = 4.09, S.D. = 0.89) และพึงพอใจด้านขนาดของภาพมีความเหมาะสมน้อยที่สุด (Mean = 3.31, S.D. = 1.10)

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าคะแนนความถูกต้องของแคปต์ชารูปอาหาร (Mean = 2.83, S.D. = 0.47) มากกว่า Asirra CAPTCHA (Mean = 2.33,

S.D. = 0.96) เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบของแคปต์ชารูปอาหาร (Mean = 0.16, S.D. = 0.05) เร็วกว่า Asirra CAPTCHA (Mean = 0.26, S.D. = 0.38) และผู้เข้าร่วมการทดลองยังพึงพอใจแคปต์ชารูปอาหาร (Mean = 4.07, S.D. = 0.52) มากกว่า Asirra

CAPTCHA (Mean = 3.82, S.D. = 0.61) โดยความถูกต้องมีคะแนนเต็ม 3 คะแนน เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบมีหน่วยเป็นวินาที และความพึงพอใจมีคะแนนเต็ม 5 คะแนน



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานระหว่างแคปต์ชารูปอาหารกับ Asirra CAPTCHA

6. บทสรุปและงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแคปต์ชาแบบรูปภาพที่มีการนำทฤษฎีระดับการประมวลผลเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างคำถามร่วมกับแคปต์ชา ซึ่งเรียกว่าแคปต์ชารูปอาหาร การออกแบบประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ประเภทภาพคำถาม (ภาพสีและภาพขาวดำ) และรูปแบบคำถาม (คำถาม ingredient และคำถาม food) เปรียบเทียบการใช้งานระหว่างแคปต์ชารูปอาหารกับ Asirra CAPTCHA (แคปต์ชารูปภาพของ Microsoft ที่ใช้ภาพหมากับแมว) ประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานด้านคะแนนความถูกต้อง เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ และความพึงพอใจ ผลการทดลองพบว่าแคปต์ชารูปอาหาร (Mean = 2.83, S.D. =

0.47) มีคะแนนความถูกต้องมากกว่า Asirra CAPTCHA (Mean = 2.33, S.D. = 0.96) แคปต์ชารูปอาหาร (Mean = 0.16, S.D. = 0.05) ใช้เวลาเฉลี่ยในการเข้าสู่ระบบเร็วกว่า Asirra CAPTCHA (Mean = 0.26, S.D. = 0.38) และผู้เข้าร่วมการทดลองยังพึงพอใจแคปต์ชารูปอาหาร (Mean = 4.07, S.D. = 0.52) มากกว่า Asirra CAPTCHA (Mean = 3.82, S.D. = 0.61) อีกทั้งแคปต์ชารูปอาหารยังสามารถป้องกันการโจมตีจากโปรแกรมอัตโนมัติด้วยวิธีการเดาสุ่มคำตอบได้ 98.75 %

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแคปต์ชาที่ใช้ภาพหมาแมวและแคปต์ชาที่ใช้ภาพอาหาร เป็นแคปต์ชาประเภทรูปภาพที่เลือกใช้รูปภาพพื้นฐานที่คนคุ้นเคย

มาเป็นภาพที่ให้ผู้ตอบแบบทดสอบแคปช่า ด้วยหลักพื้นฐานที่คาดว่า ผู้ใช้จะสามารถเข้าใจภาพและตอบแบบทดสอบแคปช่าได้โดยง่าย แต่เมื่อพิจารณาในแง่ความปลอดภัยที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะวิเคราะห์ภาพหามาแนวสามารถทำได้ไม่ยากอาจเพราะเป็นภาพที่วิเคราะห์รูปวัตถุเดียว และอาจใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร (machine learning) มาเรียนรู้ภาพแยกแยะรูปภาพสัตว์ได้ง่ายกว่าการแยกแยะรูปภาพอาหาร เช่น การแยกแยะวัตถุดิบที่ใช้ในการปรุงอาหาร ส่วนผสมที่นำมาใช้ในการปรุงอาหาร ผู้ใช้สามารถตอบคำถามที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพอาหารได้โดยไม่ยากมากนักเพราะเป็นสิ่งที่ผู้ใช้คุ้นเคยหรือบริโภคอยู่ในปัจจุบันหรือสามารถตอบคำถามที่เกี่ยวข้องกับจานอาหารได้ แม้จะไม่เคยบริโภคเลยก็ตาม แต่การแยกแยะหรือวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อาจจะทำได้ยากมากเพราะส่วนผสมหรือวัตถุดิบที่นำมาใช้ปรุงอาหารได้เปลี่ยนรูปลักษณะไปแล้ว ดังนั้นการนำเอารูปภาพอาหารมาใช้จึงเป็นสิ่งที่สามารถตอบสนองแนวการพัฒนาแคปช่าที่ต้องการให้แคปช่านั้นเป็นเรื่องง่ายสำหรับผู้ตอบที่เป็นมนุษย์แต่เป็นเรื่องยากสำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การพัฒนาแคปช่าด้วยทฤษฎีการเรียนรู้ของมนุษย์และทฤษฎีระดับการประมวลผลในระดับความหมาย จึงถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เหมาะสมในการนำไปใช้พัฒนาแคปช่าให้มีความง่ายในการใช้งานและมีความปลอดภัยจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การดำเนินงานวิจัยในอนาคตยังคงมีประเด็นที่สามารถนำไปปรับปรุงแคปช่ารูปภาพให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งด้านการใช้งานและความปลอดภัย เช่น การจัดการด้านการใช้ฐานข้อมูลให้มีความเสถียร รวดเร็ว และสามารถจัดเก็บรูปภาพจำนวนมาก ๆ ได้ ควรพัฒนาแคปช่าให้สามารถใช้ได้กับอาหารทุกประเภทหรือเลือกภาพอาหารที่คนส่วน

ใหญ่คุ้นเคยในชีวิตประจำวันเพื่อความถูกต้องในการใช้งาน ส่วนอายุและประสบการณ์ทางด้านอาหารถือเป็นอีกปัจจัยที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต เพราะถ้าผู้ใช้งานมีประสบการณ์ทางด้านอาหารต่างกัน ย่อมจะตอบหรือทำแบบทดสอบแคปช่ารูปภาพอาหารได้ต่างกัน นอกจากนี้แคปช่าที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ยังไม่ได้รองรับกับผู้ใช้งานที่มีปัญหาทางสายตา เช่น คนตาบอดสี อาจมีปัญหาในการแยกแยะวัตถุดิบหรือองค์ประกอบของภาพอาหารที่เป็นสีได้ แต่ระบบสามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้โดยเพิ่มระบบเสียงพูดเข้าไปในแบบทดสอบแคปช่า เช่น เมื่อนำเมาส์ไปวางที่รูปภาพอาหาร ระบบจะส่งเสียงพูดชื่อของอาหาร

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณบุญชัย งามวงศ์วัฒนา และคุณอนุวัตร สมบุญ ที่ให้คำแนะนำมาโดยตลอด และขอขอบคุณผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่าน

8. รายการอ้างอิง

- [1] Ahn, L.V., Blum, M. and Langford, J., 2004, Telling humans and computers apart automatically, *Commun. ACM*, 7(2): 57-60.
- [2] Gossweiler, R., Kamvar, M., and Baluja, S., 2009, A captcha based on image orientation, *Proceedings of the International World Wide Web Conference Committee*, Madrid, Spain.
- [3] พรพิมล งามบุญอุดม และณัฐชนน หงส์วริทธิ์ธร, 2556, สำนวนการใช้งานแคปช่าแบบรูปภาพ, น. 767-772, ใน การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 9, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

- [4] Liao, W. and Chang, C., 2004, Embedding information within dynamic visual patterns, Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Taipei, Taiwan.
- [5] อุบลวรรณ ภาวนันท์, 2555, จิตวิทยาการรู้คิด และปัญญา, ภาควิชาจิตวิทยา คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 454 น.
- [6] Shahreza, M.S. and Shahreza, S.S., 2007, Question-based captcha, Proceedings of the IEEE International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, Washington, DC, USA.
- [7] Ahn, L.V., Maurer, B., McMillen, C., Abraham, D. and Blum, M., 2008, reCAPTCHA: Human-based character recognition via web security measures, Science 321: 1465-1468.
- [8] Mori, G. and Malik J., 2003, Recognizing objects in adversarial clutter: Breaking a visual CAPTCHA, Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Madison, WI, USA.
- [9] Elson, J., Douceur, J. R., Howell, J., Saul, J., 2007, Asirra: A CAPTCHA that exploits interest-aligned manual image categorization, Proceedings of the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security, Alexandria, Virginia, USA.
- [10] Vikram, S., Fan, Y. and Gu, G., 2011, SEMAGE: A new image-based two-factor CAPTCHA, Proceedings of the 27th Annual Computer Security Applications Conference, Texas, USA.
- [11] พรพิมล งามญูอุดม และณัฐชนน หงส์วิธิธีธร, 2556, การใช้รูปอาหารเป็นแคปช่าอย่างไร, น. 524-529, ใน การประชุมวิชาการวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์นานาชาติ ครั้งที่ 17, โรงแรมวินเซอร์สวิตส์, กรุงเทพฯ.