

JOURNAL OF

INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

JIST

ISSN: 1906-9553 (Print)

ISSN: 2651-1053 (Online)

Volume 12. No.2

July - December 2022

Research Papers

การจำแนกตอกรักด้วยภาพถ่าย โดยการสกัดคุณลักษณะและการเรียนรู้ของเครื่อง.....	1
ศศิน เทียนดี, เกวลิน ชำนิพัฒน์ และ อรุณา พรีโมต	
การจำลองการมองเห็นสีและการออกแบบสีสื่ออารมณ์สำหรับผู้สูงอายุ.....	11
ฐิติพร เลิศรัตนเดชากุล, คณาภาญจน์ รักไพฑูรย์ และ เกษม ทิพย์ธารัจจันทร์	
โพรโทคอลพิสูจน์ทราบตัวจริงและปลอดภัยที่น้ำหนักเบาสำหรับสมาร์ตโฮมด้วยเทคโนโลยีบล็อกเชน.....	21
ปิยวิทย์ คุ่มครอง, ภูมิจิต ภูมินาถ, ฟาริต หมานเหล็บ, ซาลี ธรรมรัตน์ และ วัทธัญ ยอดทอง	
การจำแนกระดับคุณภาพน้ำด้วยการเรียนรู้เชิงลึกผ่านแอปพลิเคชันระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์.....	31
ณัฐวดี หงษ์บุญมี และ ชีรพงศ์ อ่อนคำ	
คู่มือสำหรับโหนดไร้สายที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ.....	42
ฐิติพร เลิศรัตนเดชากุล, คณาภาญจน์ รักไพฑูรย์ และ เกษม ทิพย์ธารัจจันทร์	
การวิเคราะห์เครือข่ายส่วนผสมและกลิ่นรสในอาหารไทย.....	54
ณัฐธิมา สุรเดช และ วิลาวัลย์ ยาทองคำ	
โพรโทคอลความมั่นคงปลอดภัยการพิสูจน์ทราบตัวจริงสำหรับเครือข่ายไร้สายบริเวณร่างกายกับบล็อกเชน.....	63
เบ้งค์ สันติสุธา, วสุพล ไชยสง่าศิลป์, สัญชาติ โพธิ์ฤทธิ์, ซาลี ธรรมรัตน์ และ วัทธัญ ยอดทอง	
วินิจฉัยมะเร็งผิวหนังจากภาพถ่ายโทรศัพท์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ.....	73
ขวัญกมล ดิษฐักัญจน์, ปิยะวัฒน์ หนูเล็ก และ กรวิทย์ พฤษชัยนิมิต	



JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY(JIST)

ISSN 2651-1053 (Online), ISSN 1906-9553 (Print)

The Journal of Information Science and Technology (JIST) is an academic journal established by the collaboration of 21 faculties that conduct courses related to Information Technology, namely, Bangkok University, Dhurakij Pundit University, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Mae Fah Luang University, Mahanakorn University of Technology, Mahasarakham University, Mahidol University, Nakhon Phanom University, Panyapiwat Institute of Management, Prince of Songkla University, Rangsit University, Siam University, Silpakorn University, Sripatum University, Thai-Nichi Institute of Technology, Walailak University, Burapha University, Phayao University and Ubon Ratchathani Rajabhat University. According to the agreement of deans of all faculties (Council of IT Deans of Thailand (CITT)), Mahanakorn University of Technology was appointed as a coordinator of the journal.

The journal was established in 2010 and plans to publish 2 issues per year (JANUARY – JUNE and JULY – DECEMBER per year). The journal was established first print journal publication in 2010 (Vol 1. No.1) with ISSN 1906-9553 (Print) and plans to publish 2 issues per year on during January - June and July - December. Also the journal was established first online journal publication in 2010 (Vol 1. No.1) with ISSN 2651-1053 (Online) and plans to publish 2 issues per year on during January - June and July - December.

EDITOR IN CHIEF

Werasak Kurutach, Mahanakorn University of Technology, Thailand
Datchakorn Tancharoen, Panyapiwat Institute of Management, Thailand

ASSOCIATE EDITOR

Pakapan Limtrairut, Bangkok University, Thailand
Annop Monsakul, Panyapiwat Institute of Management, Thailand
Worasak Rueangsirarak, Mae Fah Luang University, Thailand
Waraporn Jirapanthong, Dhurakij Pundit University, Thailand
Sakchai Tangwannawit, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

MANAGING EDITOR

Kaboon Thongtha, Mahanakorn University of Technology, Thailand

EDITORIAL BOARD

Aziz Nanthaamornbong Prince of Songkla University, Thailand	Krisana Chinnasarn Burapha University, Thailand	Phattanapon Rhienmora Bangkok University, Thailand
Rattana Wetprasit Prince of Songkla University, Thailand	Songsri Tangsripairoj Mahidol University, Thailand	Nutchanat Buasri Mahasarakham University, Thailand
Warodom Werapun Prince of Songkla University Phuket Campus, Thailand	Mudarmeen Munlin Mahanakorn University of Technology, Thailand	Sureeluk Weerajong Mahanakorn University of Technology, Thailand
Krishna Chimmanee Rangsit University, Thailand	Sakorn Mekraksawanit University of Phayao, Thailand	

ADVISORY BOARD

Pisit Charnkeitkong Panyapiwat Institute of Management, Thailand	Krisana Chinnasarn Burapha University, Thailand	Sunantha Sodsee King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
Adisak Suasaming Thai-Nichi Institute of Technology, Thailand	Panavy Pookaiyaudom Mahanakorn University of Technology, Thailand	Poonpong Boonbrahm Walailak University, Thailand
Pattanasak Mongkolwat Mahidol University, Thailand	Sasitorn Kaewman Mahasarakham University, Thailand	Chetneti Srisaan Rangsit University, Thailand
Siridech Boonsang King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand	Phattanapon Rhiennora Bangkok University, Thailand	Teeravisit Laohapensaeng Mae Fah Luang University, Thailand
Thana Sukvaree Sripatum University, Thailand	Dechanuchit Katanyutaveetip Siam University, Thailand	Chaiyaporn Khemapatapan Dhurakij Pundit University, Thailand
Nathaporn Karnjapoomi Silpakorn University, Thailand	Aziz Nanthaamornbong Prince of Songkla University, Thailand	Anong Rungsuk NakhonPhanom University, Thailand
Pornthep Rojanavasv University of Phayao, Thailand	Kriengkrai Porkaew King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand	Supawee Makdee Ubon Ratchathani Rajabhat University, Thailand

CONTACT ADDRESS

Council of IT Deans of Thailand (CITT),
Faculty of Engineering and Technology,
Mahanakorn University of Technology
140 Moo 1, Cheum-Sampan Road, Nongchok,
Bangkok, Thailand 10530
Tel: +(662)988-3655 ext 4115

CALL FOR PAPER

Journal of Information Science and Technology (JIST)

<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST>

Editor in Chief

Werasak Kurutach (MUT)
Datchakorn Tancharoen (PIM)
Associate Editor
Pakapan Limtrairut (BU)
Annop Monsakul (PIM)
Worarak Rueangsirarak (MFU)
Waraporn Jirapanthong (DPU)
SakchaiTangwannawit(KMUTNB)

Advisory Board

Panavy Pookaiyaudom (MUT)
Kriengkrai Porkaew (KMUTT)
Sasitorn Kaewman (MSU)
Pattanasak Mongkolwat (MU)
Poonpong Boonbrahm (WU)
AdisakSuasaming (TNI)
Pisit Charnkeitkong (PIM)
Chetneti Srisaon (RSU)
Siridech Boonsang (KMUTL)
Phattanapon Rhiennora (BU)
Sunantha Sodsee (KMUTNB)
Teeravisit Laohapensaeng(MFU)
Thana Sukvaree(SPU)
Dechanuchit Katanyutaveetip(SU)
Chaiyaporn Khemapatapan (DPU)
Nathaporn Karnjapoomi (SU)
Aziz Nanthamornbong (PSU)
Anong Rungsuk (NPU)
Krisana Chinasarn (BUU)
Pornthep Rojanavasu (UP)
Supawee Makdee (UBRU)

Editorial Board

Mudarmeen Munlin (MUT)
Sureeluk Weerajong (MUT)
Rattana Wetprasit (PSU)
Songsri Tangsripairoj (MU)
Aziz Nanthamornbong (PSU)
Krisana Chinnasarn (BUU)
Phattanapon Rhiennora (BU)
Nuchanat Buasri (MSU)
Warodom Werapun (PSU)
Krishna Chimmancee (RSU)
Sakorn Mekraksawani (UP)
Benjamas Meansamut (MUT)
ChatchaiTubgri (MUT)

Managing Editor

Kaboon Thongtha (MUT)

Submissions

Online Journal Submission
<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/>

Publication Periodicity

Published 2 times a year in June and December.

(JAN – JUN and JULY – DEC).

(Indexed by TCI tier 2)

JIST Office Address

Council of IT Deans of Thailand (CITT),
Faculty of Engineering and Technology,
Mahanakorn University of Technology
140 Moo 1, Cheum-Sampan Rd.,
Nongchok, Bangkok, Thailand 10530
Tel. +(662)988-3655 ext 4115, Fax:
+(662)988-4027

Peer Review Process

All submitted manuscripts must be reviewed by at least three expert reviewers via the double-blinded review system.

Manuscript Preparation Guide (Publication Charge: Free)

The template for writing the journal is available for downloading (jist_template_eng-2020.doc or jist_template_thai-2020.doc). Minimum length of the paper should be in between 6-16 pages of A4 size. Text should be typewritten or printed with double-spaced in 11-point of A4 white paper with margins of 1.5" for top, 1.25" for left, and 1" for bottom and right sides. All pages must be numbered sequentially. Here are some guidelines.

- Abstract with length 100-200 words in length.
- Introduction which discusses existing problem and related research
- Materials and methods used for experimentation, Results of the experiment, Discussion and conclusion, References Style is IEEE.

The Journal of Information Science and Technology (JIST) aims to be the forum through which researchers, faculties, and experts of the computer and information technology and others technological related fields share and discuss their high quality research work as well as innovation. Original research articles, practical applications and innovations in the broad area of computer and information technology are suitable for publication in JIST.

- **Soft Computing:**

Artificial Intelligence, Fuzzy and Neural Computing, Genetic Algorithms, Intelligent Agents, Neural Networks, Natural Language Processing, Robotics and Automation, Image Processing

- **Human-Computer Interaction:**

Graphical User Interfaces, Multimedia, Interactive Systems, Computer-Supported Cooperative Work, Human Cognitive Skills, Visualization, and Computer Simulation

- **Information Assurance and Security:**

Cryptography, Forensics and Incident Response, Biometrics, Security Policies and Procedures

- **Information Systems:**

Databases, Information Retrieval, Transaction Processing, Distributed and Object Databases, Data Warehousing, Knowledge Management, Expert Systems, Multimedia Information Systems, Digital Libraries, Geographical Information Systems

- **Networking:**

Advanced Computer Networks, Internet Technology and Applications, Distributed Systems, Wireless and Mobile Computing, Data Compression, Network Security, Enterprise Networking, Digital Communications

- **Programming:**

Object-Oriented Programming, Event-Driven Programming, Functional Programming, Logic Programming, XML and other Extensible Languages, Parallel Programming

- **Platform Technologies:**

Advanced Computer Architecture, Parallel Architectures, Cluster / Grid Computing, RFID, Embedded Systems

- **System Integration and Architecture:**

Software Acquisition and Implementation, System Needs Assessment, Software Economics, Enterprise Systems, Computing Economics

- **Social and Professional Issues:**

Professional Practice, Social Context of Computing, Computers Ethics, IT Law, Intellectual Property, Privacy and Civil Rights

- **Web Systems and Technologies:**

Programming for the WWW, E-commerce, E-Learning, Content Management Systems, E-Government and E-Service

- **Multidisciplinary:**

Bioinformatics, Biomedical Information Systems, Nano Technology

- **e-Business and m-Business:**

e-Business Process Aspects, Intelligent e-Business System, m-Business, e-Supply Chain Management & e-Logistics, e-Customer Relationship Management, e-Negotiation, e-Payment, e-Business Design and Developments

- **Business and Information System:**

Information management for business applications, Enterprise systems and architecture, Business systems infrastructure design for information integration, Service-oriented architecture, Service-component architecture

- **Social and Business Aspects of Convergence IT and Ubiquitous Computing:**

Economics of emerging technologies, Home and community computing, Economic and social complexities in CIT and UC, New forms of media and communications

- **Internet of Things (IoT):**

IoT system architecture, IoT enabling technologies, IoT communication and networking protocols such as network coding, and IoT services and applications and technology development in different standard development organizations (SDO).

- **Cloud Computing:**

Auditing, monitoring, scheduling, resource registration/discovery, Automatic reconfiguration, self healing/monitoring, Service level agreements, integration, management.

- **Fintech and blockchain:**

Development of Blockchain Security Enhancement Technologies, Platform Technology that Supports Safe Transactions, Financial and Economic Structures, Blockchain's Impacts on Workstyles, Fast Fintech for Smartphone Application Service Platform.



การจำแนกดอกกรักด้วยภาพถ่าย โดยการสกัดคุณลักษณะและการเรียนรู้ของเครื่อง

A Classification of Crown Flower using Feature Extraction and Machine Learning

ศสิน เทียนดี¹ เกวลิน ขำนิพัฒน์² และ อรุมา พรำโมต^{2*}

Sasin Tiendee¹, Kewalin Khamnipat² and On-Uma Pramote^{2*}

¹โครงการจัดตั้งภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน

¹Department Computer, Faculty of Art and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

²หลักสูตรสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

²Computer Science Program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

Received: December 17, 2021; Revised: May 26, 2022; Accepted: June 09, 2022; Published: July 25, 2022

ABSTRACT – This research presents an algorithm for image analysis dahlia classification that uses machine learning techniques to learn the distinctive features of dahlia images. The dahlia flowers used in this study were divided into four classes: (1) well-formed flowers, (2) fungal-infected flowers, (3) unequal petals, and (4) basal flowers. The dahlia flowers used in this research were divided into four classes: (1) flowers with good appearance, (2) flowers with fungal attachment, (3) flowers with unequal petal length, and (4) flowers at the base that are adjacent to each other. There are 200 flowers per class, a total of 800 flowers. The main features used in the research were three attributes: (1) percentage of dark pixels, (2) petal area (3) area between petals. Three techniques were used in this study: (1) Decision Trees, (2) Support Vector Machines, and (3) Deep Learning. In this study, 70% of the total data was used to create the classifier, and the remaining 30% was used for the classifier test. The classifier benchmarks with ten-fold cross-validation were precision 95.92, recall 95.90, accuracy 95.89, and f-measure 95.91. Test datasets were used to measure performance and found that decision trees were the most efficient learning machines. The results were precision 99.59 %, recall 99.58%, accuracy 99.58%, and f-measure rate 99.58%.

KEYWORDS: Classification, Feature Extraction, Machine Learning, Crown Flower

บทคัดย่อ -- งานวิจัยนี้เสนอขั้นตอนวิธีการจำแนกดอกกรักด้วยการวิเคราะห์ภาพซึ่งใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อเรียนรู้ลักษณะเด่นของภาพดอกกรักดอกกรักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 4 คลาส (1) ดอกที่มีลักษณะดี (2) ดอกที่มีเชื้อราติดอยู่ (3) ดอกที่มีกลีบยาวไม่เท่ากัน (4) ดอกที่ฐานชิดติดกัน ซึ่งมีคลาสละ 200 ดอก รวมทั้งสิ้น 800 ดอก คุณลักษณะเด่นที่ใช้ในงานวิจัย มี 3 คุณลักษณะ ได้แก่ (1) ร้อยละของพิกเซลสีเข้ม (2) พื้นที่กลีบดอก (3) พื้นที่ระหว่างกลีบดอก งานวิจัยนี้ทำการทดลองใช้เครื่องจักรเรียนรู้ 3 เทคนิค คือ (1) ต้นไม้ตัดสินใจ (2) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และ (3) การเรียนรู้เชิงลึก งานวิจัยนี้กำหนดให้จำนวนข้อมูลร้อยละ 70 จากทั้งหมด นำมาใช้สร้างตัวจำแนก และจำนวนข้อมูลที่เหลือ 30% นำมาใช้ในการทดสอบตัวจำแนก ผลของการวัดประสิทธิภาพของตัวจำแนกด้วย 10 fold cross validation คือ ค่าความแม่นยำ ร้อยละ 95.92 ค่าความระลึก ร้อยละ 95.90 ค่าความถูกต้อง 95.89 และค่าความถ่วงดุล ร้อยละ 95.91 ชุดข้อมูลทดสอบถูกใช้ในการวัดประสิทธิภาพ พบว่า ต้นไม้ตัดสินใจเป็นเครื่องจักรเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ผลลัพธ์ คือ ค่าความแม่นยำ ร้อยละ 99.59 ค่าความระลึก ร้อยละ 99.58 ค่าความถูกต้อง ร้อยละ 99.58 และค่าความถ่วงดุล ร้อยละ 99.58

คำสำคัญ: การจำแนก การสกัดคุณลักษณะเด่น การเรียนรู้ของเครื่อง ดอกกรัก

*Corresponding Author: onbee@psru.ac.th

1. บทนำ

ในประเทศไทยดอกกรักเป็นดอกไม้ที่ใช้ในการร้อยมาลัยหรือใช้ในงานมงคล ดอกกรักแบ่งได้ตามสีของดอก 2 คือสีขาวและสีม่วงหรือม่วงแดง แต่ดอกกรักสีขาวนิยมนำมาใช้มากกว่า ดอกกรักมีลักษณะเป็นช่อแบบซี่ร่ม ออกตามซอกใบหรือปลายกิ่ง มีกลีบเลี้ยง 5 กลีบ โคนเชื่อมติดกัน เมื่อบานจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 – 3 เซนติเมตร ให้ผลผลิตตลอดปี ปัจจุบันมีความต้องการใช้ดอกกรักอย่างต่อเนื่อง จึงมีการปลูกดอกกรักในเชิงพาณิชย์กันมากขึ้น ราคาดอกกรักปรับขึ้นลงตามราคาตลาด ช่วงที่ดอกกรักให้ผลผลิตน้อยราคาดอกกรักจะสูง เฉลี่ยกิโลกรัมละ 120-200 บาท หากเป็นช่วงที่ดอกกรักให้ผลผลิตมากราคาจะลดลงเหลือกิโลกรัมละ 20-60 บาท ซึ่งราคาที่แตกต่างมาจากขนาดของดอก การเก็บดอกกรักกลายเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกร (ชาวนา) ระหว่างการปลูกข้าว โดยเฉพาะในพื้นที่ตำบลหัวดง อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร เมื่อเกษตรกรเก็บดอกกรักมาแล้วต้องคัดเฉพาะดอกที่ไม่มีรา มีจำนวนกลีบ 5 กลีบ ความยาวกลีบต้องเท่ากัน ฐานกลีบมีระยะห่างไม่ชิดกัน และมีขนาดที่ไม่เล็กเกินไป เพื่อให้พ่อค้าคนกลางมารับซื้อ ถ้าเกษตรกรไม่คัดแยกดอกกรักพอค้าจะซื้อแบบเหมารวม ทำให้ขายไม่ได้ราคา แต่ถ้าเกษตรกรคัดดอกจะสามารถขายในราคาที่สูงขึ้นได้

ศาสตร์ด้านปัญญาประดิษฐ์กำลังเป็นที่สนใจของคนทั่วโลก รวมถึงรัฐบาลไทยที่พยายามขับเคลื่อนให้ประเทศเข้าสู่เศรษฐกิจดิจิทัล (Digital Economy) หรือ ไทยแลนด์ 4.0 (Thailand 4.0) เน้นให้เกษตรกรหรือผู้ประกอบการใช้เทคโนโลยีมาช่วยในการทำงานเพื่อให้ได้ผลกำไรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่นิยมใช้ คือ เครื่องจักรเรียนรู้ (Machine Learning) ที่สามารถช่วยจำแนก คัดแยก จัดกลุ่ม หรือทำนายผลลัพธ์ได้ โดยในประเทศไทยได้นำเครื่องจักรเรียนรู้เข้ามาช่วยหลายด้าน ได้แก่ ด้านการแพทย์ [1-3] ด้านเกษตรกรรม [4-5] ด้านอุตสาหกรรม [6] หรือด้านความปลอดภัย [7] ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เครื่องจักรเรียนรู้จำแนก หรือทำนายข้อมูลได้ คือ คุณลักษณะเด่น (Feature) โดยต้องทำการสกัดจากข้อมูลที่เราสนใจด้วยวิธีการต่างๆ

จากปัญหาข้างต้นและเทคโนโลยีในปัจจุบันผู้วิจัยจึงขอเสนอการจำแนกดอกกรักด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย โดยใช้คุณลักษณะเด่นและเครื่องจักรเรียนรู้เพื่อช่วยการคัดในการจำแนกดอกกรัก ให้มีความถูกต้องแม่นยำ ช่วยเพิ่มรายได้ของเกษตรกรและสอดคล้องกับนโยบายของประเทศ

ส่วนต่อไปของบทความนี้มีรายละเอียดได้แก่ ส่วนที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 วิธีการวิจัย ส่วนที่ 4 ผลการทดลอง ส่วนที่ 5 บทสรุปและการอภิปราย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

ภาพถูกแทนเป็นข้อมูล 2 มิติ ในรูปแบบตารางข้อมูล บอกตำแหน่งช่องในตารางด้วยค่าแนวตั้งและค่าแนวนอนซึ่งในแต่ละช่องจะเก็บค่าตัวเลขที่แสดงถึงความเข้มแสง (Intensity) เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ การประมวลผลภาพ คือ การใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์มากระทำต่อข้อมูลภาพเพื่อให้เกิดผลลัพธ์หรือภาพใหม่ที่ดีขึ้นทั้งในสายตาของมนุษย์หรือในการนำข้อมูลไปประมวลผลต่อ [8] การประมวลผลภาพแบ่งได้ 5 แบบ ได้แก่ การได้มาซึ่งภาพ การปรับปรุงภาพ การกู้คืนภาพ การแบ่งส่วนภาพ และการบีบอัดภาพ ในงานวิจัยนี้ ใช้การได้มาซึ่งภาพ และการแบ่งส่วนภาพ

2.2 การสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction)

มนุษย์สามารถจำแนกวัตถุต่างๆ ออกจากกันได้ โดยอาศัยรูปร่างหรือลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันของวัตถุนั้นๆ ดังนั้นการทำให้คอมพิวเตอร์จำแนกได้เหมือนมนุษย์ต้องวัดหรือแสดงความแตกต่างของรูปแบบออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งเรียกว่าลักษณะเด่น (Feature) โดยการสกัดคุณลักษณะเด่นจากภาพ มี 3 แบบ คือ คุณลักษณะสี (Color) คุณลักษณะรูปร่าง (Shape) คุณลักษณะพื้นผิว (Texture) การจำแนกอาจจำเป็นต้องใช้ลักษณะเด่นมากกว่า 1 อย่าง ซึ่งจะแสดงลักษณะเด่นทั้งหมดที่ใช้ในรูปแบบเวกเตอร์ลักษณะเด่น (Feature Vector) [9],[10]

2.3 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

การเรียนรู้ของเครื่อง หรือเครื่องจักรเรียนรู้ สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) กลุ่มที่สอง การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) แบ่งย่อยได้อีก 2 แบบ คือ การจำแนกหรือการแยกประเภทข้อมูล (Classification) และ การวิเคราะห์การถดถอย (Regression) [11-13]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

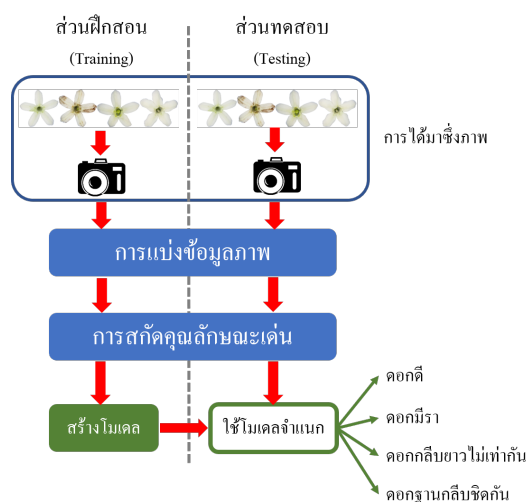
ในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกดอกไม้ไม่สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) งานวิจัยที่ใช้เครื่องจักรเรียนรู้ที่มีขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นร่วมอยู่ในเทคนิคด้วย ซึ่งมีงานวิจัยดังนี้ [14] การจำแนกพันธุ์กล้วยไม้ ด้วยเครื่องจักรเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน มีความถูกต้องร้อยละ 92.2 [15] การจำแนกพรรณไม้ที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม ใช้เครื่องจักรเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน 4 โครงสร้าง ผลการวิจัยพบว่า โครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน คือ Google Net 2) งานวิจัยที่สกัดคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีการประมวลผลภาพ เพื่อนำไปใช้กับเครื่องจักรเรียนรู้ที่รับข้อมูลเป็นตัวเลข ซึ่งมีงานวิจัยดังนี้ [16] การจำแนกภาพดอกเดหลี ซึ่งใช้คุณลักษณะเด่น 3 อย่าง ได้แก่ สี รูปร่างดอก และระยะห่างระหว่างจุด ใช้เครื่องจักรเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียม มีความถูกต้องร้อยละ 88.67 [17] การจำแนกดอกกล้วยไม้ร่องเท้าพันธุ์พื้นเมือง ศึกษาการแบ่งส่วนภาพเพื่อนำภาพไปสกัดคุณลักษณะเด่น คือ คุณลักษณะสี โดยใช้โมเดลสีแบบ HSV คุณลักษณะรูปร่างโดยใช้อัตราส่วนและค่าความกระจัด (Compactness) ซึ่งผลการวิจัยพบว่า เทคนิคการแบ่งส่วนภาพด้วยการขีดแบ่ง และเทคนิคการแบ่งเส้นภาพด้วยขอบ เป็นเทคนิคที่ดีที่สุดในการแบ่งส่วนภาพที่ควรนำไปใช้สกัดคุณลักษณะต่อ

จากงานวิจัยข้างต้นยังไม่มีงานวิจัยการจำแนกดอกกล้วยไม้ และการสกัดคุณลักษณะเด่นสามารถทำงานกับเครื่องจักรเรียนรู้ได้หลายแบบ ซึ่งการสกัดคุณลักษณะเด่นเองทำให้สามารถเลือกใช้คุณลักษณะเด่นได้อย่างอิสระ และใช้จำนวนคุณลักษณะเด่นไม่มากในการจำแนก ส่งผลให้จำแนกได้เร็ว

3. วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการจำแนกดอกกล้วยไม้ด้วยภาพถ่าย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) การได้มาซึ่งภาพ 2) การแบ่งข้อมูลภาพ 3) การสกัดคุณลักษณะเด่น และ 4) การการสร้างและใช้งานโมเดลจำแนก ซึ่งในขั้นตอนที่ 4 จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฝึกสอน (Training) และส่วนทดสอบ (Testing) ในส่วนฝึกสอน จะนำข้อมูลคุณลักษณะเด่นไปฝึกโมเดลจำแนก ในส่วนทดสอบจะนำ

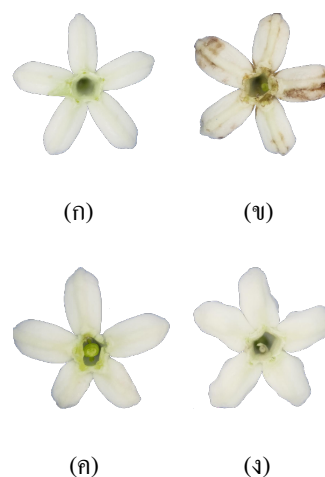
ข้อมูลคุณลักษณะเด่นไปทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลที่ได้จากการฝึก ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ

3.1 ข้อมูลดอกกล้วยไม้ (Data Set)

พันธุ์ดอกกล้วยไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นพันธุ์กล้วยไม้ สีสาว มีกลีบ 5 กลีบ แบ่งเป็น 4 คลาส ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้จำแนกให้ จำนวนดอกกล้วยไม้ที่ใช้ในแต่ละคลาสเท่ากับ 200 ดอก รวมทั้งสิ้น 800 ดอก



รูปที่ 2. (ก) ดอกดี (ข) ดอกมีรา (ค) ดอกที่กลีบยาวไม่เท่ากัน (ง) ดอกที่ฐานกลีบชิดกัน

ตารางที่ 1. แสดงรายละเอียดของดอกกรักแต่ละคลาส

คลาส	ลักษณะ
ดอกดี (Good)	กลีบสีขาวไม่มีสีดำหรือสีน้ำตาลปน กลีบทั้ง 5 มีความยาวใกล้เคียงกัน ฐานกลีบมีระยะห่างไม่ชิดติดกัน
ดอกมีรา (Fungi)	กลีบดอกมีสีดำหรือสีน้ำตาลปน
ดอกที่กลีบยาวไม่เท่ากัน (Small)	กลีบมีความยาวจากฐานถึงปลายกลีบไม่เท่ากัน
ดอกที่ฐานชิดติดกัน (Based)	ฐานกลีบชิดติดกัน หรือมีระยะห่างระหว่างฐานกลีบน้อย

งานวิจัยนี้แยกคุณลักษณะเด่นของดอกกรักตามตารางที่ 2

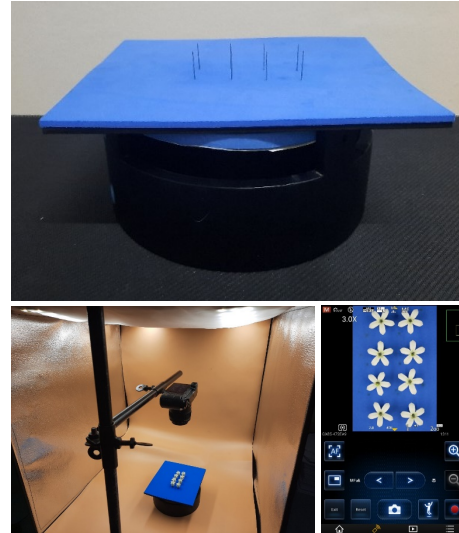
ตารางที่ 2. แสดงคุณลักษณะเด่นของดอกกรัก

คลาส	คุณลักษณะเด่น		
	สีกลีบ	กลีบแคระ	ฐานของกลีบดอก
ดอกดี (Good)	ขาว	ไม่มี	แยก
ดอกมีรา (Fungi)	ดำ	ไม่มี	แยก
ดอกที่กลีบยาวไม่เท่ากัน (Small)	ขาว	มี	แยก
ดอกที่ฐานชิดติดกัน (Based)	ขาว	ไม่มี	ติด

3.2 การได้มาซึ่งภาพ (Image Acquisition)

งานวิจัยนี้สร้างอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับการถ่ายภาพและกำหนดสภาพแวดล้อม ค่าพารามิเตอร์ของกล้องในการถ่าย ดังนี้ แท่นทรงกลมสูง 8 ซม. เพื่อวางดอกกรัก พื้นหลังสีฟ้าสำหรับรองถ่าย ขนาด 16 x 18.5 ซม. ใช้เข็มหมุดเป็นตัวยึดดอกกรัก วางดอกกรักในลักษณะห่างฐานดอกขึ้น เรียง 2 แถว แถวละ 4 ดอก กล้องถ่ายภาพจะยึดกับก้านของฐานถ่าย โดยถ่ายจากมุมบน (Top view) ห่างจากแท่นวางดอกกรัก 40 ซม. ซึ่งถ่ายในกล่องสตูดิโอที่ติดตั้งไฟแอลอีดี (LED) ขนาด 1690 ลูเมน อุณหภูมิ 5500 เคลวิน จำนวน 40 หลอด พารามิเตอร์กล้องกำหนดค่าดังนี้ ใช้โหมด

โฟกัส MF ค่ารูรับแสง เท่ากับ F2.8 ค่าแสงไอโอเอส(ISO) เท่ากับ 400 เวลาชัตเตอร์ (Exposure time) เท่ากับ 1/400s ใช้เลนส์มาโคร ระยะเลนส์ซูม 45 มม. เพื่อไม่ให้เกิดการขยับของตัวกล้องและฐานถ่ายจึงใช้การควบคุมไร้สายในการเก็บภาพจากแท็บเล็ต ดังแสดงในรูปที่ 3



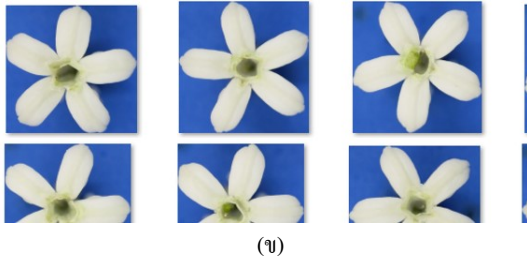
รูปที่ 3. แสดงอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในการได้มาซึ่งภาพ

3.3 การแบ่งข้อมูลภาพ (Image Cropping)

ใช้การประมวลผลภาพ เพื่อเตรียมภาพให้พร้อมก่อนทำการสกัดคุณลักษณะเด่น โดยเลือกช่องสีแดง (Red Channel) ของภาพเป็นหลักและแยกพื้นหลังกับดอกกรักด้วยการหาค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) จากนั้นใช้การหาบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) เพื่อตัดกรอบล้อมดอกกรักแต่ละดอกแล้วทำการตัด (Cropping) ภาพที่นำเข้ามาในขั้นตอนนี้มีขนาด ความกว้าง 4592 ความสูง 3064 พิกเซล ความละเอียดของภาพ 180 ดิพีไอ (Dot per inch: dpi) เป็นไฟล์ภาพ เจพีจี (JPG)



(ก)

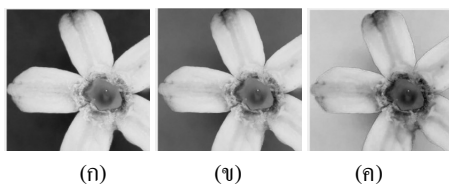


รูปที่ 4. (ก) ภาพก่อน (ข) ภาพหลังการเตรียมข้อมูลภาพ

3.4 การสกัดคุณลักษณะเด่น (Feature Extraction)

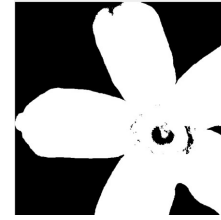
การสกัดคุณลักษณะเด่นของดอกกรักนำเสนอ คุณลักษณะเด่นที่คุณลักษณะเด่นพื้น ที่กลีบดอก และคุณลักษณะเด่นพื้น ที่ระหว่างกลีบ โดยแยกคุณลักษณะกับการจำแนกดอกกรักแต่ละกลุ่ม ดังนี้ คุณลักษณะเด่นที่ใช้แยกดอกมีรา คุณลักษณะเด่นพื้น ที่กลีบดอกใช้แยกดอกที่มีความยาวกลีบไม่เท่ากัน และคุณลักษณะเด่นพื้น ที่ระหว่างกลีบใช้แยกดอกที่ฐานชดัดติดกัน การสกัดคุณลักษณะเด่นจะพิจารณาเฉพาะกลีบดอกตามความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ จึงไม่นำส่วนกลางดอกมาร่วมพิจารณาด้วย การสกัดคุณลักษณะเด่นประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1) ใช้ช่องสี 2 ช่อง คือ สีแดง (Red) และสีน้ำเงิน (Blue) สีขาวของดอกกรักในช่องสีแดงถูกแบ่งออกจากพื้นหลักได้ชัดเจนสามารถใช้แบ่งพื้นหลังกับดอกกรักได้ดี ส่วนช่องสีน้ำเงินสามารถแสดงสีคำหรือน้ำตาลในดอกกรักได้ชัดเจน เมื่อนำข้อมูลดอกกรักจาก 2 ช่องสีรวมกันจะทำให้ได้พื้นที่ดอกกรักสมบูรณ์



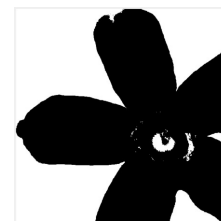
รูปที่ 5. (ก) ดอกกรักช่องสีแดง (ข) ดอกกรักช่องสีเขียว และ (ค) ดอกกรักช่องสีน้ำเงิน

2) เลือกพิกเซลข้อมูลเฉพาะดอกกรักในช่องสีแดง โดยแปลงข้อมูลภาพจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ (ดอกกรักสีขาว พื้นหลังสีดำ) ด้วยการหาค่าเทรชโวลด์ และหาจุดเซนทรอยของภาพเก็บไว้เพื่อใช้สร้างวงกลมปิดกลางดอกกรัก



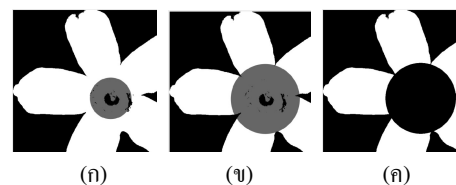
รูปที่ 6. ภาพของดอกกรักที่แบ่งจากพื้นหลัง

3) สลับค่าพิกเซลของพื้นหลังและ ดอกกรัก จากนั้นทำการหาเซนทรอยของวัตถุในภาพ (สีขาวกลางภาพ)



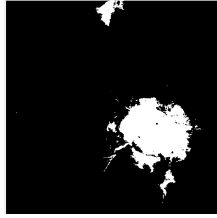
รูปที่ 7. การสลับค่าพื้นหลังกับดอกกรัก

4) นำจุดเซนทรอยที่ได้จาก 2 ภาพ มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมปิดกลางดอกกรัก สร้างวงกลมที่ โดยกำหนดรัศมีเริ่มต้น 100 หน่วย แล้วทำการขยายรัศมีขึ้นทีละ 10 หน่วย จนกว่าวงกลมจะสามารถตัดแบ่งกลีบดอกกรักได้ 5 กลีบ



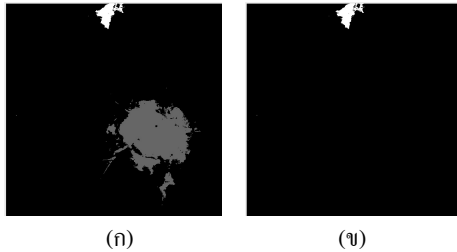
รูปที่ 8. (ก) วงกลมขนาดเริ่มต้น (ข) ขนาดวงกลมที่สามารถแบ่งกลีบได้ 5 กลีบ และ (ค) ดอกกรักที่ตัดแบ่งกลีบและฐานดอก

5) เลือกช่องสีน้ำเงิน โดยพิกเซลสีคำหรือน้ำตาลจะถูกเลือกเป็นข้อมูลดอกกรัก จากนั้นใช้เทคนิคเทรชโวลด์ แบ่งข้อมูลดอกกรักกับพื้นหลัง ส่งผลให้ส่วนกลางของดอกถูกเลือกมาด้วย



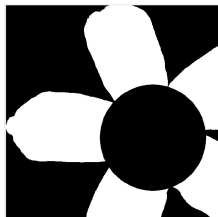
รูปที่ 9. พิกเซลสีดำหรือสีน้ำตาลของดอกกรัก

6) สร้างวงกลมจากเซนทรอยเดิม โดยมีรัศมี 1.5 เท่าของขนาดรัศมีที่แบ่งกลีบดอกได้ 5 กลีบ ทำให้ตัดได้ครอบคลุมกลางของดอกกรัก คงเหลือแต่พิกเซลที่กลีบดอกกรัก



รูปที่ 10. (ก) ก่อนใช้วงกลมตัด (ข) หลังใช้วงกลมตัด

7) นำข้อมูลของกลีบดอกกรักและพื้นที่ที่สีเข้มบนกลีบดอกมารวมกัน และทำการเติมช่องว่างของกลีบดอกทั้งหมดเพื่อความสมบูรณ์



รูปที่ 11. ดอกกรักที่พร้อมสัณฐานลักษณะเด่น

8) การสกัดคุณลักษณะเด่นสี พิจารณาพิกเซลสีดำและสีน้ำตาลในกลีบดอกต่อจำนวนพิกเซลกลีบดอกกรักทั้งหมด (5 กลีบ) ได้เป็นค่าร้อยละของพิกเซลสีเข้ม (Percent) ซึ่งใช้เป็นคุณลักษณะเด่นในการจำแนกดอกมีรา

$$Percent = \frac{Pixel\ of\ Black\ or\ Brown}{All\ Pixel\ of\ flower\ petals}$$

9) การสกัดคุณลักษณะเด่นพื้นที่กลีบดอก พิจารณาดังนี้ (1) หาพื้นที่กลีบดอกทั้ง 5 กลีบ (2) หาค่ามัธยฐาน (Median) (3) หาผลต่างของค่ามัธยฐานกับพื้นที่กลีบดอกที่น้อยที่สุด ได้เป็นค่าพื้นที่กลีบดอก (Area of petal) ซึ่งใช้เป็นคุณลักษณะเด่นในการจำแนกดอกที่มีความยาวกลีบไม่เท่ากัน

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$$

โดยที่ A คือ เซตของพื้นที่กลีบดอกกรัก ทั้ง 5 กลีบ
 a คือ จำนวนพิกเซลในพื้นที่กลีบดอกแต่ละกลีบ

$$Area\ of\ Petal = Median(A) - Min(A)$$

3) การสกัดคุณลักษณะเด่นพื้นที่ระหว่างกลีบ ใช้พื้นที่ว่างระหว่างกลีบมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมพิจารณา ดังนี้ (1) หาพื้นที่ว่างกลีบดอกทั้ง 5 กลีบ (2) หาค่าพื้นที่ว่างกลีบที่น้อยที่สุด (Minimize) ซึ่งใช้เป็นคุณลักษณะเด่นในการจำแนกดอกที่ฐานชิดติดกัน

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$$

โดยที่ T คือ เซตของพื้นที่ว่างกลีบดอกทั้ง 5 กลีบ
 t คือ จำนวนพิกเซลระหว่างพื้นที่กลีบแต่ละกลีบ

$$Distance\ of\ Petal = Min(T)$$

3.5 การแบ่งข้อมูลเพื่อทดลอง

การแบ่งข้อมูลเพื่อทดลองในงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้แบ่งข้อมูลสำหรับฝึกสอน ร้อยละ 70 ของข้อมูลทั้งหมด 800 ดอก ได้จำนวน 560 ดอก ที่เหลือร้อยละ 30 เป็นข้อมูลที่ใช้ทดสอบจำนวน 240 ดอก มีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. แสดงจำนวนดอกกรักที่ใช้ในการทดลอง

ประเภทข้อมูล	จำนวนดอกกรักแต่ละคลาส			
	Good	Fungi	Small	Based
ข้อมูลฝึกสอน	140	140	140	140
ข้อมูลทดสอบ	60	60	60	60

โดยในการฝึกสอนข้อมูลจะถูกนำเข้าด้วยวิธี การตรวจสอบไขว้สลับ ซึ่งแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 กลุ่ม (10 fold Cross validation) ชุดข้อมูลมีลักษณะเป็นตาราง แนวนอนคือ ข้อมูลดอกกรักแต่ละดอก แนวตั้งคือคุณลักษณะเด่น 3 คุณลักษณะ ดังตัวอย่างในตารางที่ 4

ตารางที่ 4. แสดงตารางตัวอย่างคุณลักษณะเด่นและผลเฉลย

ชุดข้อมูล	Precent	Area	Base	Class
ดอกที่ 1	0.5421	876	8823	Good
ดอกที่ 2	0.0582	6734	6897	Good
ดอกที่ 3	13.6217	4430	11127	Fungi
ดอกที่ 4	9.5397	774	10732	Fungi
ดอกที่ 5	0.0925	14592	8897	Small
ดอกที่ 6	0.1416	17259	11124	Small
ดอกที่ 7	0.0938	5546	4843	Base
ดอกที่ 8	0.1029	3124	1689	Base

3.7 การวัดประสิทธิภาพเครื่องจักรเรียนรู้

การวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักรเรียนรู้ ประกอบด้วย 3 ค่า ได้แก่ ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของเครื่องจักรเรียนรู้กับข้อมูลทดสอบ [18]

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN}$$

โดยที่ TP คือ ค่าพยากรณ์ ถูกต้องเชิงบวก (ทำนายว่าจริง และสิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง)

TN คือ ค่าพยากรณ์ถูกต้องเชิงลบ (ทำนายว่าไม่จริง และสิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง)

FP คือ ค่าพยากรณ์ผิดพลาดเชิงบวก (ทำนายว่าจริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง)

FN คือ ค่าพยากรณ์ผิดพลาดเชิงลบเชิงลบ (ทำนายว่าไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง)

4. ผลการทดลอง

การใช้คุณลักษณะเด่นทั้ง 3 คุณลักษณะสกัดค่าจากดอกกรัก 4 คลาส ได้แก่ ดอกดี (Good) ดอกมีรา (Fungi) ดอกที่ความยาวกลีบไม่เท่ากัน (Small) และดอกที่ฐานชิดติดกัน (Based) สามารถแสดงผลโดยใช้ตัวอย่างดอกกรักแต่ละคลาส จำนวน 8 ดอก มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการสกัดคุณลักษณะเด่นสี่

การสกัดคุณลักษณะเด่นสี่ เพื่อจำแนกรายในดอกกรักทั้ง 4 คลาส ได้แก่ Good Fungi Small และ Based มีรายละเอียดในตารางที่ 5 พบว่าค่าร้อยละของฟิสิกส์เคมี ในคลาส Fungi จะมีค่าร้อยละสูงกว่าดอกกรักทั้ง 3 คลาส ซึ่งดอกมีรา ค่าของร้อยละจะเกินร้อยละ 2

ตารางที่ 5. แสดงค่าร้อยละฟิสิกส์เคมีของดอกกรัก 4 คลาส

ชุดข้อมูล	Good	Fungi	Small	Based
ดอกที่ 1	0.203	6.135	0.022	0.048
ดอกที่ 2	0.542	13.494	0.093	0.094
ดอกที่ 3	0.058	13.622	0.142	0.103
ดอกที่ 4	0.117	13.371	0.105	0.088
ดอกที่ 5	0.098	9.540	0.170	0.103
ดอกที่ 6	0.084	2.947	0.113	0.527
ดอกที่ 7	0.163	9.254	0.392	0.087
ดอกที่ 8	0.124	21.717	0.159	0.060

4.2 ผลการสกัดคุณลักษณะเด่นของพื้นที่กลีบ

การสกัดคุณลักษณะเด่นของพื้นที่กลีบ เพื่อจำแนกดอกที่ความยาวกลีบไม่เท่ากันในดอกกรักทั้ง 4 คลาส ดังภาพที่ 12 แสดงพื้นที่ทั้ง 5 กลีบของคลาส Good Fungi และ Based มีขนาดใกล้เคียงกัน ยกเว้น คลาส Small ซึ่งพิจารณารายละเอียดในตารางที่ 6 พบว่าค่าของพื้นที่ของกลีบดอกกรักคลาส Small จะสูงกว่าดอกกรักทั้ง 3 คลาส ซึ่งดอกที่ความยาวกลีบไม่เท่ากัน (Small) ให้ค่าความต่างระหว่างพื้นที่กลีบที่น้อยที่สุดกับค่ามัธยฐานของพื้นที่กลีบทั้ง 5 กลีบ เกิน 10000 ฟิสิกส์เคมี ในดอกกรักทั้ง 3 คลาสที่เหลือจะมีค่าพื้นที่น้อยกว่า



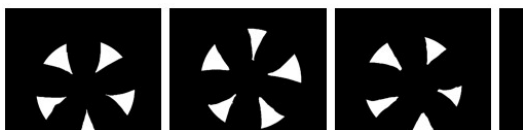
รูปที่ 12. พื้นที่กลีบของดอกกรักทั้ง 4 คลาส

ตารางที่ 6. แสดงค่าพื้นที่ของกลีบของดอกกรัก 4 คลาส

ชุดข้อมูล	Good	Fungi	Small	Based
ดอกที่ 1	1757	726	17441	4013
ดอกที่ 2	876	4000	14592	5546
ดอกที่ 3	6734	4430	17259	3124
ดอกที่ 4	4010	774	12005	3994
ดอกที่ 5	7923	1513	13492	2146
ดอกที่ 6	2513	1696	26465	5059
ดอกที่ 7	3419	766	10312	1876
ดอกที่ 8	5876	1370	19455	9444

4.3 ผลการสกัดคุณลักษณะเด่นพื้นที่ระหว่างกลีบ

การสกัดคุณลักษณะเด่นพื้นที่ระหว่างกลีบ เพื่อจำแนกดอกที่ฐานชนิดติดกันในดอกกรักทั้ง 4 คลาส ดังภาพที่ 13 แสดงพื้นที่ระหว่างกลีบ (รูปสามเหลี่ยม) ของคลาส Based มีจำนวนน้อยกว่า 3 คลาสที่เหลือ พิจารณารายละเอียดในตารางที่ 7 พบว่าค่าพื้นที่ระหว่างกลีบที่น้อยที่สุดจากกลีบทั้ง 5 ของคลาส Based จะมีค่าพื้นที่น้อยกว่า 5000 พิกเซล ซึ่งในดอกกรักทั้ง 3 คลาสที่เหลือจะมีค่าพื้นที่มากกว่า



รูปที่ 13. พื้นที่ระหว่างกลีบของดอกกรักทั้ง 4 คลาส

ตารางที่ 7. แสดงค่าพื้นที่ระหว่างกลีบของดอกกรัก 4 กลุ่ม

ชุดข้อมูล	Good	Fungi	Small	Based
ดอกที่ 1	9625	8550	7859	4934
ดอกที่ 2	8823	10101	8897	4843
ดอกที่ 3	6897	11127	11124	1689
ดอกที่ 4	8693	11233	11412	1956
ดอกที่ 5	9350	10436	10552	3806
ดอกที่ 6	8524	10843	8525	1595
ดอกที่ 7	10995	11075	7846	3106
ดอกที่ 8	8896	10715	12870	4900

4.4 ประสิทธิภาพของเครื่องจักร

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องจักรเรียนรู้ในการทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ซัพพอร์ตเวกเตอร์ แมชชีน (SVM) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อเป็นทดสอบว่าคุณลักษณะทั้ง 3 สามารถทำงานกับเครื่องจักรเรียนรู้ได้หลายชนิด โดยใช้ซอฟต์แวร์แรปบีทไมเนอร์ (RapidMiner) และใช้ค่าพื้นฐานของเครื่องจักรได้ผลการทดลองตามตารางที่ 8-12

ตารางที่ 8. แสดงค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักร 3 ชนิด

		DT	SVM	DL
Train	Accuracy	95.89	90.89	92.14
	F1	95.91	91.58	92.58
Test	Precision	99.59	96.02	99.19
	Recall	99.58	95.42	99.17
	Accuracy	99.58	95.42	99.17
	F1	99.58	95.71	99.18

ตารางที่ 9. แสดงผลต้นไม้ตัดสินใจแต่ละคลาส

	Actual Good	Actual Fungi	Actual Small	Actual Based
Predicted Good	59	0	0	0
Predicted Fungi	0	60	0	0
Predicted Small	1	0	60	0
Predicted Based	0	0	0	60

ตารางที่ 10. แสดงผลซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนแต่ละคลาส

	Actual Good	Actual Fungi	Actual Small	Actual Based
Predicted Good	59	0	0	0
Predicted Fungi	0	50	0	0
Predicted Small	0	10	60	0
Predicted Based	1	0	0	60

ตารางที่ 11. แสดงผลการเรียนรู้เชิงลึกแต่ละคลาส

	Actual Good	Actual Fungi	Actual Small	Actual Based
Predicted Good	60	0	1	0
Predicted Fungi	0	58	0	0
Predicted Small	0	2	60	0
Predicted Based	0	0	0	60

เครื่องจักรเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ต้นไม้ตัดสินใจ โดยมีความแม่นยำ ร้อยละ 99.59 ค่าความระลึก ร้อยละ 99.58 ค่าความถูกต้อง ร้อยละ 99.58 และค่าถ่วงดุล ร้อยละ 99.58 เครื่องจักรเรียนรู้ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพต่ำสุด ให้ค่าความแม่นยำ ร้อยละ 96.02 ค่าความระลึก ร้อยละ 95.42 ค่าความถูกต้อง ร้อยละ 95.42 และค่าถ่วงดุล ร้อยละ 95.71

5. บทสรุปและการอภิปราย

งานวิจัยนี้ศึกษาการจำแนกดอกกล้วยไม้ด้วยภาพถ่าย โดยใช้การสกัดคุณลักษณะเด่นและเครื่องจักรเรียนรู้ ซึ่งคุณลักษณะเด่นที่ใช้มี 3 คุณลักษณะ คือ ร้อยละของพิกเซลสีเข้ม พื้นที่กลีบ และพื้นที่ระหว่างกลีบ ผ่านเครื่องจักรเรียนรู้ 3 ชนิด คือ ต้นไม้ตัดสินใจ ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน และ การเรียนรู้เชิงลึก พบว่าเครื่องจักรทั้ง 3 ชนิด ให้ค่าความถูกต้องเกินร้อยละ 90 ทั้งนี้การเรียนรู้เชิงลึกและต้นไม้ตัดสินใจเป็นเครื่องจักรที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด จากการพิจารณาในรายละเอียดของการจำแนกในแต่ละเครื่องจักรมีการจำแนกผิดดังนี้ ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน จำแนกดอกกล้วยไม้เป็นดอกกลีบขาวไม่เท่ากัน เนื่องจาก คุณลักษณะเด่นพื้นที่กลีบของดอกมีราที่จำแนกผิดนั้นมีค่าเกินกว่า 10000

พิกเซล ซึ่งถูกให้ค่าความสำคัญในการจำแนกมากกว่าคุณลักษณะเด่นสี เครื่องจักรจึงจำแนกให้อยู่ในคลาส Small แทนคลาส Fungi โดยในการเรียนรู้เชิงลึกก็จำแนกผิดในลักษณะเดียวกันเพียงแต่จำแนกผิดจำนวนน้อยกว่าซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน ส่วนในต้นไม้ตัดสินใจ จำแนกดอกกล้วยไม้ผิดพลาดน้อยที่สุด เนื่องจากโครงสร้างข้อมูลของต้นไม้ที่เครื่องจักรได้สร้างขึ้นเลือกคุณลักษณะเด่นที่ใช้เป็น Root คือคุณลักษณะเด่นสี เพื่อแยกดอกมีราออกก่อน จากนั้นเลือกคุณลักษณะเด่นพื้นที่ระหว่างกลีบ เพื่อแยกดอกที่ฐานชิดติดกัน และสุดท้ายใช้คุณลักษณะเด่นพื้นที่กลีบ เพื่อใช้แยกดอกที่กลีบขาวไม่เท่ากัน และดอกดี แนวทางวิจัยต่อไป ศึกษาคุณลักษณะเด่นด้านรูปทรง เช่น ขนาดความสูง ความกว้าง หรือ การใช้แฟร็กทัล (Fractal) เพื่อช่วยให้การจำแนกมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และอุปกรณ์บางส่วนสำหรับใช้ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nattavadee Hongboonmee and Praphasiri Trepanichkul, "Comparison of Data Classification Efficiency to Analyze Risk Factors that Affect the Occurrence of Hyperthyroid using Data Mining Techniques", *Journal of Information Science and Technology*, Vol. 9, No. 1, pp. 41-51, JAN-JUN 2019.
- [2] Arika Thammano1, Muthita Wangkid and Arit Thammano, "Breast Cancer Prediction Using K-mean Classification Algorithm with Self-adaptive Weight", *Journal of Information Science and Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 1-9, JUL-DEC 2020.
- [3] Songgrod Phimpisan and Nattavut Sriwiboon, "Image Processing for Fundus Image Classification using Deep Learning", *Journal of Information Science and Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 19-25, JUL-DEC 2020.

- [4] Nattavadee Hongboonmee and Nutthapong Jantawong, "Apply of Deep Learning Techniques to Measure the Sweetness Level of Watermelon via Smartphone", *Journal of Information Science and Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 59-69, JUL-DEC 2020.
- [5] Sarawoot Boonkidram and Nattavut Sriwiboon, "Physical Quality Investigation of Germinated Brown Rice by using Image Processing", *Journal of Information Science and Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 101-109, , JUL-DEC 2020.
- [6] Jittrapong Jaroenjit, Apirak Panpanasakul, Pollawat Chaisri, Peerapong Promduang and Sutida Prompongusawa, "Classification pearls using image processing," presented at the 9 th Hatyai National and International Conference, Hatyai University, Songkhla, Thailand, Jul. 20, 1679-1691, 2018.
- [7] Nattavadee Hongboonmee and Kanin Pratoomthong, "The Analysis System of Counterfeit Banknote by Photo on Smartphone using Deep Learning Technique", *Journal of Information Science and Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 90-100, JUL- DEC 2020.
- [8] Somying Thainimit, "Introduction to Image Processing," in *Digital Image Processing with MATLAB*, Thailand: Kasetsart University, 2010. Accessed: Oct. 1, 2021. [Online]. Available: <https://ebook.lib.ku.ac.th/ebook27/ebook/2014RG0087/index.html#p=1>
- [9] Charturong Tantibundhit, "Introduction to Pattern Recognition," in *Pattern Recognition*, Thailand: Thammasat Printing house, 2012.
- [10] Parinya Sanguansat, "Decision Tree," in *Artificial Intelligence with Machine Learning*, Thailand: INFOPRESS, 2019.
- [11] Buncha Pasilatesung, "Support Vector Machines," in *Python Machine Learning*, Thailand: SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED, 2021.
- [12] Tatpong Katanyukul, "Neural Network," in *Introduction to Machine Learning*, Thailand: Faculty of Engineering Khon Kaen University, 2017.
- [13] Jakkarin Sanuksan and Olarik Surinta, "Deep Convolutional Neural Networks for Plant Recognition in the Natural Environment", *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, Vol. 38, No. 2, pp. 113-124, MAR-APR 2019.
- [14] Rotsarin Tritanasombat and Tawin Tanawong, "Orchid Species Analyze System with Artificial Convolution Neural Network," presented at the 9 th Asia Undergraduate Conference on Computing, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Prachuap Khiri Khan, Thailand, Feb. 25, 1337-1343, 2021.
- [15] Thanawat Poonyarit and Chutipphon Srisawat, "Peace Lily Images Classification with Visual Contents," presented at the UTCC Academic Day Conference, University of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok, Thailand, Jun. 7, 704-716, 2017.
- [16] Put Panuwanchakorn and JanjiraPayakpate, "Using Image Segmentation Technique on the Image of Orchids Paphiopedilum Native Species of Thailand," presented at the 10 th Mahasarakham University Research Conference, Mahasarakham University, Mahasarakham, Thailand, Sep. 11-12, 1679-1691, 2014.
- [17] Nopparut Pattansam and Nattavut Sriwiboon, "Image Processing for Classifying the Quality of the Chok-Anan Mango by Simulating the Human Vision using Deep Learning", *Journal of Information Science and Technology*, Vol. 10, No. 1, pp. 24-29, JAN-JUN 2020.
- [18] Hossin, M.I and Sulaiman, M.N, "A Review on Evaluation Metrics for Data Classification Evaluations", *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, Vol. 5, No. 2, pp. 1-11, , March 2015.



การจำลองการมองเห็นสีและการออกแบบสีสื่ออารมณ์สำหรับผู้สูงอายุ Aging Color Vision Simulation and Emotional Color Design

ฐิติพร เลิศรัตนเดชกุล*, คณาภรณ์ รักไพฑูรย์ และ เกษม ทิพย์ธาราจันทร์

Thitiporn Lertrusdachakul*, Kanakarn Ruxpaitoon and Kasem Thiptarajan

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology

Received: March 14, 2022; Revised: August 06, 2022; Accepted: August 17, 2022; Published: December 30, 2022

ABSTRACT – In the aged society, more than half of elderly people suffer from cataracts. This research aimed to simulate color vision and vision of color brightness levels in elderly patients with high-level cataracts using yellow acrylic and blurry filters and a set of 180 test colors from the “Color Image Scale”. These colors help in connecting inherent emotions for color design that is suitable for the elderly. The study resulted in color groups that the elderly could clearly see and see closely to normal vision people which are the colors in yellow, orange, red and green tones. Therefore, designers can choose colors in these color groups and investigate with emotion or impression of color combination in the “Color Image Scale” and the contrast ratio for good visibility and creation of emotional perception for the elderly. This will be useful for communicating information, product development and improving quality of life for the elderly.

KEYWORDS: Color vision, Elderly, Vision simulation, Emotional color, Color design

บทคัดย่อ -- ในสังคมผู้สูงอายุมากกว่าครึ่งป่วยด้วยโรคต้อกระจก งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาจำลองการมองเห็นสีและระดับความสว่างของสีในผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคต้อกระจกระดับมาก โดยใช้ตัวกรองอะคริลิกสีเหลืองและตัวกรองเบลอ และชุดสีทดสอบจำนวน 180 สีจาก Color Image Scale ซึ่งจะช่วยให้เชื่อมโยงการเลือกใช้สีกับอารมณ์ความรู้สึกที่แฝงอยู่เพื่อการออกแบบสีที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ ผลการศึกษาทำให้ได้กลุ่มสีที่ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นชัดเจน และมองเห็นใกล้เคียงกับคนสายตาปกติ ซึ่งอยู่ในกลุ่มโทนสีเหลือง สีส้ม สีแดง และสีเขียว ดังนั้นนักออกแบบสามารถเลือกใช้สีในกลุ่มสีเหล่านี้ พิจารณาร่วมกับอารมณ์ความรู้สึก หรือภาพลักษณ์ของชุดสีใน Color Image Scale และอัตราส่วนความคมชัด (Contrast Ratio) เพื่อการมองเห็นแยกแยะที่ดีและสร้างการรับรู้ทางอารมณ์ความรู้สึกให้กับผู้สูงอายุ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการสื่อสารข้อมูลกับผู้สูงวัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์และคุณภาพชีวิตสำหรับผู้สูงวัย

คำสำคัญ: การมองเห็นสี, ผู้สูงอายุ, การจำลองการมองเห็น, สีสื่ออารมณ์, การออกแบบสี

1. บทนำ

ในทุกการมองเห็นของมนุษย์ สีเป็นสิ่งที่ส่งผลต่อการรับรู้ข้อมูล และยังสามารถช่วยกระตุ้นอารมณ์ ความรู้สึกของบุคคล ส่งผลต่อสภาพจิตใจหรือร่างกาย ดังจะเห็นได้จากการนำสีเป็นส่วนหนึ่งของศิลปะบำบัด (Art Therapy) โดยสีช่วยส่งเสริมการรักษาผู้ที่มีความผิดปกติทางสมองหรือผู้ที่มีปัญหาทางอารมณ์ เช่น สีเขียวเป็นสีหนึ่งที่ทำให้คนที่อารมณ์ไม่สมดุลได้ผ่อนคลาย [1] การเข้าใจถึงจิตวิทยาสี จะทำให้การเลือกใช้สีมี

ความเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสีมีอิทธิพลต่อการรับรู้ทางอารมณ์ของมนุษย์ เช่น รสชาติอาหาร ขนาดและน้ำหนักของวัตถุ อุณหภูมิ นอกจากนั้นจิตวิทยาสียังใช้แพร่หลายในด้านการตลาดและการสร้างแบรนด์ เนื่องจากสีสามารถมีอิทธิพลต่ออารมณ์และการรับรู้ของผู้บริโภคเกี่ยวกับสินค้าและบริการ ช่วยในการสื่อสารและดึงดูดความสนใจ ซึ่งความรู้สึกและการรับรู้ อาจมีความแตกต่างกันตามเพศ อายุ และวัฒนธรรมที่ต่างกันด้วย สำหรับการสื่อสารในกลุ่มเป้าหมายที่เป็นประชากร

*Corresponding Author: thitiporn@tni.ac.th

ผู้สูงอายุ ซึ่งประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์แล้วนั้น [2] มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงความต้องการตามธรรมชาติของร่างกายผู้สูงอายุ ซึ่งในกรณีของสีก็เช่นเดียวกัน พบว่าดวงตามีความเสื่อมถอยและป่วยเป็นโรคต้อกระจก (Cataract) ถึงร้อยละ 66-83 ในวัย 60-69 ปี และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 84-97 ในวัย 70-79 ปี หรือเรียกว่าทุกคนเมื่อก้าวเข้าสู่วัย 80 ปี [3] โดยต้อกระจกเป็นโรคที่เกิดจากภาวะเลนส์แก้วตาขุ่น [4] ทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง กล่าวคือมองเห็นภาพไม่ชัดเจน และอาจเป็นสีเหลืองหรือสีซีดจางลงขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของโรค ดังนั้นนอกจากการเลือกใช้สีที่เหมาะสมกับอารมณ์ความรู้สึกของช่วงวัยสูงอายุแล้ว ยังต้องสามารถมองเห็น แยกแยะและรับรู้ได้ง่ายสำหรับผู้สูงอายุอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาชุดสีสื่ออารมณ์ความรู้สึกจาก Color Image Scale [5] ด้วยการจำลองการมองเห็นสีและระดับความสว่างของผู้สูงอายุผ่านตัวกรองอะคริลิก (Acrylic) สีเหลือง และตัวกรองแบบขุ่น เพื่อค้นหากลุ่มสีที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนสำหรับผู้สูงอายุ

สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการมองเห็นสีของผู้สูงอายุนั้น นริรัตน์และคณะ [6] ได้ศึกษาความสามารถในการมองเห็นสีแต่ละสีของผู้สูงอายุ โดยพบว่ามีความแตกต่างกันภายใต้ระดับความสว่างที่ต่างกัน ซึ่งผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบป้ายสัญลักษณ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมต่อไป และผลการศึกษาของ Kawaguchi และคณะ [7] พบว่าความลำบากในการอ่านหนังสือพิมพ์เป็นปัญหาที่พบบ่อยที่สุดในชีวิตประจำวันอันเนื่องมาจากความพร่ามัวและความสามารถในการมองเห็นความแตกต่างของสีในผู้สูงอายุนอกจากนั้นยังเป็นปัญหาอย่างมากต่อการขับรถในเวลากลางวันหรือฝนตกของผู้สูงอายุอีกด้วย

ในส่วนของการจำลองการมองเห็นนั้น University of Cambridge [8] ได้ศึกษาการมองเห็นของผู้ที่มีความบกพร่องทางสายตาด้วยแว่นจำลองการมองเห็นของ Cambridge เพื่อเปิดประสบการณ์การเข้าถึงและเข้าใจผู้ที่ประสบปัญหาในการมองเห็น และที่จังหวัด Nagano ประเทศญี่ปุ่น [9] ได้ศึกษาวิเคราะห์การมองเห็นสีของผู้สูงอายุ โดยจำลองสภาวะเลนส์แก้วตาขุ่นด้วยตัวกรองอะคริลิก (Acrylic) สีต่าง ๆ ซึ่งพบว่าโทนสีร้อนและโทนสีที่มีความสดหรือความอิ่มตัวของสีสูง จะสามารถมองเห็นและรับรู้ได้ง่ายกว่า นอกจากนั้นยังมีเครื่องมืออื่น ๆ เช่น Clari-Fi [10] ซึ่งเป็นเครื่องมือประเมินความชัดเจน

ในการมองเห็น (ความสามารถในการรับรู้ เข้าใจ) ของข้อความและไอคอนที่ปรากฏในภาพหน้าจอของโทรศัพท์มือถือ โดยใช้การเบลอภาพด้วยตัวกรอง Gaussian เพื่อจำลองความยากลำบากในการรับรู้ลักษณะรูปแบบกราฟิกเนื่องจากปัญหาการมองเห็นและ Impairment Simulator Software [11] เป็นซอฟต์แวร์จำลองความบกพร่องทางการมองเห็นและการได้ยิน เพื่อช่วยในการเรียนรู้เกี่ยวกับสภาพการมองเห็นที่แตกต่างกัน และสื่อสารประเด็นปัญหาในความเป็นจริงให้ผู้อื่นได้รับทราบ

ซึ่งในการออกแบบแอปพลิเคชัน (Application) และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน (User Interface) สำหรับผู้สูงอายุนั้น นอกจากการคำนึงถึงความสามารถในการมองเห็นได้ชัดเจนและความสามารถในการแยกแยะระหว่างระดับความสว่างต่างๆแล้ว ความสามารถในการแยกแยะสีในและรอบข้อความ ไอคอน ปุ่มต่าง ๆ นับเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบเพื่อการใช้งานของผู้สูงอายุ ทำให้การสื่อสารข้อความ ความหมายภาพกราฟิก รูปร่างต่าง ๆ เป็นไปอย่างถูกต้อง

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับ Color Universal Design (CUD) เพื่อการออกแบบสีที่เป็นสากล ควรคำนึงถึงการเลือกชุดสีที่ง่ายต่อการจดจำและแยกแยะ การสื่อสารข้อมูลไปยังผู้ที่มีปัญหาในการแยกแยะสี และการสื่อสารโดยการใช้ชื่อสี [12] เพื่อสร้างการออกแบบที่ง่ายสำหรับทุกคนที่จะเข้าใจและถ่ายทอดข้อมูลได้อย่างถูกต้อง เช่น การเลือกโทนสีที่ง่ายต่อการระบุ การใช้เส้นที่มีความหนา การใส่เส้นขอบระหว่างสี การเปลี่ยนรูปร่าง การแสดงชื่อสี เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการศึกษาการมองเห็นสีของผู้สูงอายุซึ่งส่วนใหญ่ประสบปัญหาโรคต้อกระจก โดยเป็นการจำลองการมองเห็นผ่านตัวกรองอะคริลิกสีเหลืองและตัวกรองแบบขุ่น โดยผู้ที่มีความปกติทางสายตาเป็นผู้ทดสอบ และใช้ชุดสีทดสอบที่เชื่อมโยงกับชุดสีสื่ออารมณ์จาก Color Image Scale ทดสอบร่วมกับการมองเห็นระดับความสว่างของสี เพื่อคัดเลือกรูปแบบสีที่สามารถมองเห็นสีได้อย่างชัดเจน มีความสับสนน้อยที่สุดสำหรับการนำไปใช้งาน ช่วยในการออกแบบที่เอื้อต่อการดำเนินชีวิตของผู้สูงอายุ ทั้งในด้านการมองเห็นสีชัดเจนและการสื่อสารอารมณ์ความรู้สึก

2. วิธีดำเนินการวิจัย

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการจำลองการมองเห็นของผู้สูงอายุและผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น ซึ่งมีทั้งการใช้

ฮาร์ดแวร์ (Hardware) [8]-[9] และซอฟต์แวร์ (Software) [10]-[11] นั้น คณะผู้วิจัยได้เลือกวิธีการจากการศึกษาที่มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้มากที่สุด [9] เป็นแนวทางในการจำลองการมองเห็นสีของผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคต้อกระจกในระดับที่รบกวนต่อการดำเนินชีวิต โดยมีรายละเอียดของการทดสอบดังนี้

- ใช้ตัวกรองอะคริลิกสีเหลืองและตัวกรองแบบขุ่น กันระหว่างจอแสดงภาพและผู้ทดสอบ
- ระยะห่างระหว่างตัวกรองถึงจอแสดงภาพ และตัวกรองถึงผู้ทดสอบ 30 เซนติเมตร
- ทดสอบภายใต้มาตรฐานความสว่างห้องภายในอาคาร
- ใช้จอแสดงภาพ iMac ขนาด 21.5 นิ้ว
- ปรับเทียบสีหน้าจอ (Calibrate) เพื่อให้มีความเที่ยงตรงตามมาตรฐานสีก่อนการทดลอง
- ผู้ทดสอบมีอายุระหว่าง 19-26 ปี
- ผู้ทดสอบทุกคนผ่านการทดสอบไม่เป็นโรคตาบอดสีด้วยภาพทดสอบตาบอดสี Ishihara [13] จำนวน 24 ภาพก่อนการทดลอง
- ชุดสีที่ใช้ในการทดลองมาจากชุดสีของ Color Image Scale [5] จำนวน 180 สี ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติเชื่อมโยงกับอารมณ์ความรู้สึก และถูกจัดเป็น 23 หมวดหมู่คำศัพท์ รวมทั้งสิ้น 160 คำศัพท์ที่แสดงภาพลักษณะต่าง ๆ (Key Image Word) เพื่อสะดวกต่อการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารอารมณ์ความรู้สึก โดยในแต่ละ Key Image Word ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยชุดสีจำนวน 16 สี

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

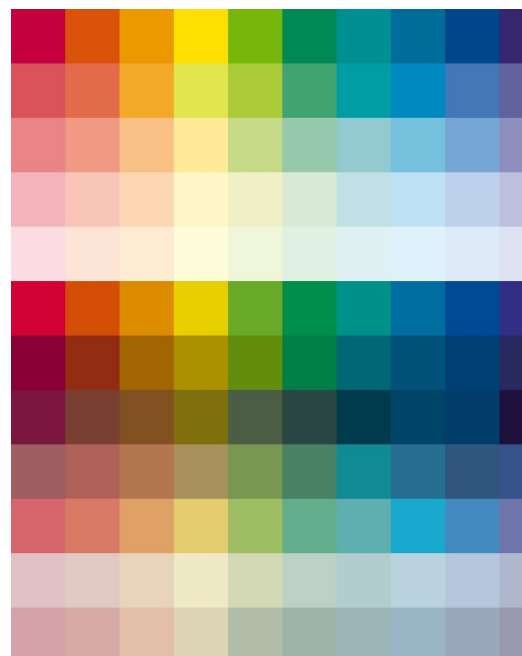
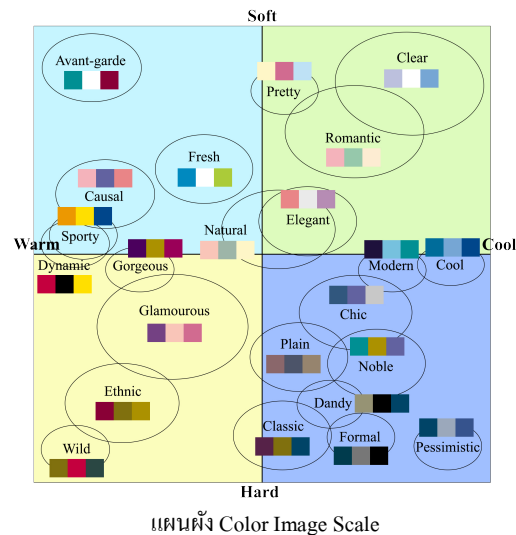
1. การทดสอบการมองเห็นสี

ผู้ทดสอบมองเห็นสีผ่านตัวกรองอะคริลิกสีเหลืองซ้อนติดกับตัวกรองแบบขุ่น โดยจอแสดงภาพขนาด 21.5 นิ้ว แสดงแถบสีขนาด 7×12 สี (ความสูง×ความกว้าง) แบบเต็มหน้าจอทีละชุดจนครบทุกสี เพื่อเลือกสีที่มองเห็นไม่ชัดออกจาก 180 สี จากนั้นสีที่มองเห็นชัดเจนจะปรากฏขึ้นอีกครั้งโดยแสดงทีละสีแบบเต็มหน้าจอ เพื่อให้ผู้ทดสอบระบุชื่อสีที่มองเห็นได้ จากชื่อสีหลักที่ให้เลือก (แบบ Drop-down List) ดังนี้

สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน สีม่วง สีชมพู สีเทา สีขาว สีดำ และ สีฟ้า

การสร้างและแสดงสีบนหน้าจอ และการเก็บผลการทดลองจากผู้ทดสอบ จัดทำโดยใช้ Script และ Macro เพื่อให้กระบวนการเป็นไปอย่างอัตโนมัติและอำนวยความสะดวกแก่ผู้ทดสอบ โดยผลการทดสอบจะถูกรวบรวมไว้บน Cloud แบบ Real Time เพื่อการวิเคราะห์และประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

ทั้งนี้ผู้ทดสอบสามารถพักสายตาได้ตามความสะดวกด้วยการมองสีเทากลาง หรือ Neutral Gray (Munsell N5) [14] ที่จัดเตรียมไว้ทางด้านข้างของจอแสดงภาพ



ชุดสีจาก Color Image Scale จำนวน 180 สี
รูปที่ 1. ชุดสีทดสอบจากแผนผัง Color Image Scale

2. การทดสอบการมองเห็นระดับความสว่าง

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบระดับความสว่างของสีที่มองเห็นผ่านตัวกรองอะคริลิกสีเหลืองและตัวกรองแบบขุ่น กับความสว่างของสีระดับเทา โดยแถบสีระดับเทาจำนวน 9 ระดับจะปรากฏเรียงกันด้านบนของจอแสดงภาพ ซึ่งเป็น 9 สีแรกที่อยู่แถวสุดท้ายของชุดสีจาก Color Image Scale ในรูปที่ 1 โดยมีค่าสีแดง (R), สีเขียว (G), สีน้ำเงิน (B) ในระบบสี sRGB และค่าความสว่าง (L^*) ในระบบสี CIELAB ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ค่าสีและความสว่าง (L^*) ของสีระดับเทา 9 ระดับที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสว่าง

ระดับที่	R = G = B (0-255)	L^* (0-100)	แถบสี
1	255	100.00	
2	234	92.70	
3	200	80.60	
4	167	68.49	
5	144	59.79	
6	119	50.03	
7	81	34.45	
8	38	15.16	
9	0	0.00	

ส่วนที่เหลือของจอแสดงภาพจะปรากฏแถบสีที่ไล่สีจาก Color Image Scale จนครบ 180 สี เพื่อให้ผู้ทดสอบมองแต่ละสีผ่านตัวกรอง เปรียบเทียบกับแถบสีระดับเทา 9 ระดับด้านบนที่ไม่ได้มองผ่านตัวกรอง และเลือกความสว่างของสีระดับเทาที่ตรงกันหรือมีความใกล้เคียงที่สุด ซึ่งผลการทดสอบการมองเห็นสีและการมองเห็นระดับความสว่างของสี ด้วยการจำลองการมองเห็นของผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคต้อกระจกในระดับที่สร้างความลำบากต่อการใช้ชีวิตประจำวัน จะถูกนำมาประมวลผลร่วมกันเพื่อค้นหาชุดสีที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานสำหรับผู้สูงอายุ

3. ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบโดยมีจำนวนผู้ร่วมทดสอบที่มีอายุระหว่าง 19-26 ปี แบ่งตามเพศดังตารางที่ 2 พบว่าสีที่มองเห็นได้ชัดเจน

และสามารถระบุชื่อสีตรงกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของผู้ร่วมทดสอบ มีจำนวนทั้งสิ้น 55 สีจาก 180 สี คิดเป็นร้อยละ 30.56 ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มของชื่อสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว และสีเทา โดยรูปที่ 3 แสดงสีของรูปที่ 2 ตามชื่อสีดังกล่าว

ตารางที่ 2. จำนวนผู้ร่วมทดสอบแบ่งตามเพศและประเภทการทดสอบ

ประเภทการทดสอบ	จำนวนผู้ร่วมทดสอบ		
	ชาย (อัตราส่วนร้อยละ)	หญิง (อัตราส่วนร้อยละ)	รวม
การมองเห็นสี	15 (50.00)	15 (50.00)	30
การมองเห็นระดับความสว่าง	20 (52.63)	18 (47.37)	38

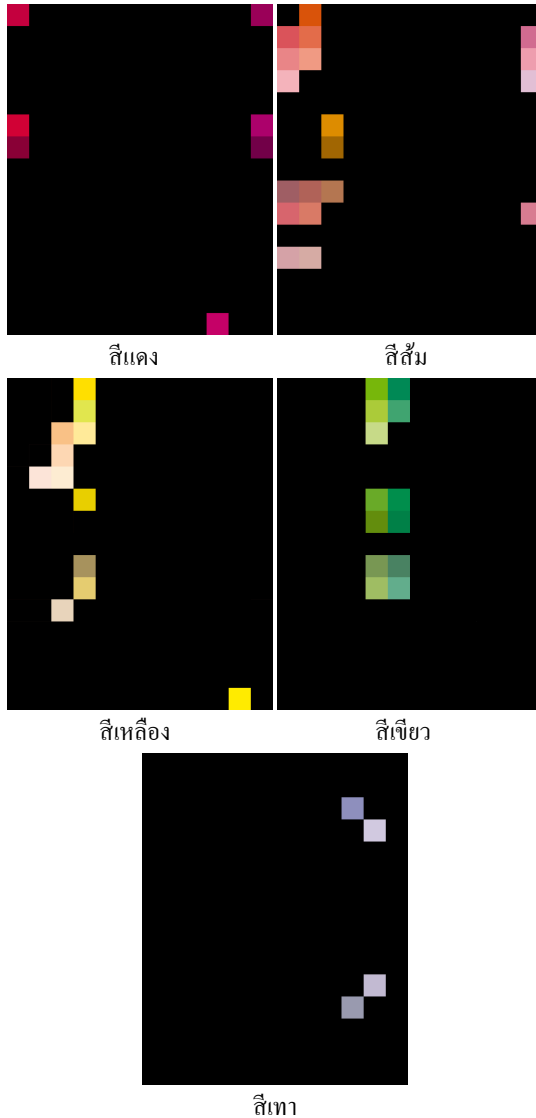


รูปที่ 2. กลุ่มสีที่มองเห็นได้ชัดเจนและสามารถระบุชื่อสีตรงกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของผู้ร่วมทดสอบ



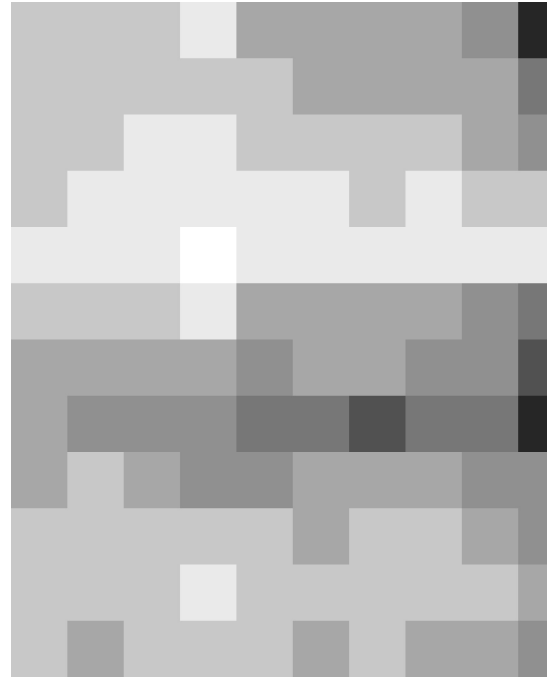
รูปที่ 3. กลุ่มสีจากรูปที่ 2 โดยแสดงสีตามชื่อสีที่ผู้ร่วมทดสอบส่วนใหญ่ระบุ

หากแบ่งกลุ่มสีย่อยในรูปที่ 3 ตามชื่อสีที่ระบุ จะได้ชุดสีที่มองเห็นชัดเป็นสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว และสีเทา ตามลำดับดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. ชุดสีที่ถูกมองเห็นชัดเจนเป็นสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว และสีเทา

ในขณะที่ผลการทดสอบการมองเห็นระดับความสว่างของชุดสีทั้ง 180 สี มีการกระจายตัวของระดับความสว่างดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. ระดับความสว่างที่มองเห็นได้ของชุดสี 180 สีจาก
Color Image Scale

ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับผลการทดสอบการมองเห็นสีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 โดยกลุ่มสีที่มองเห็นชัดเจนและส่วนใหญ่สามารถระบุชื่อสีตรงกัน จะปรากฏชื่อสีภาษาอังกฤษด้วยสีจริงในรูปที่ 6 บนพื้นสีระดับเทาที่ตรงกับระดับความสว่างเมื่อมองสีผ่านตัวกรอง

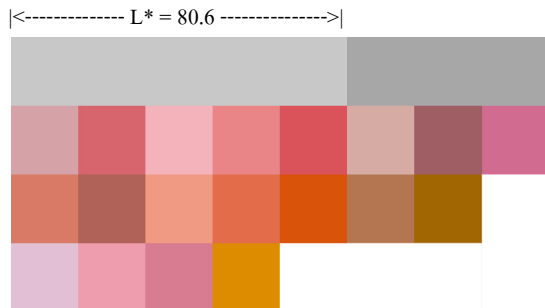
รูปที่ 7 แสดงกลุ่มสีย่อยที่มองเห็นชัดเจนเป็นสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว และสีเทา ตามลำดับ พร้อมระดับความสว่างของสีที่มองเห็นได้ผ่านตัวกรอง แสดงเป็นแถบสีระดับเทาอยู่ด้านบน ดังนั้นในการออกแบบสีสำหรับผู้สูงอายุโดยเฉพาะผู้ที่ป่วยเป็นโรคต้อกระจกจะระดับมากนั้น การเลือกใช้สีในกลุ่มชื่อสีต่าง ๆ ของรูปที่ 7 จะช่วยให้ผู้สูงอายุมองเห็นง่ายตามชื่อสีที่ต้องการแสดงหรือสื่อสาร นอกจากนั้นจากผลการทดสอบการมองเห็นระดับความสว่าง พบว่าสีและระดับความสว่างที่ต้องการแสดง อาจใช้แทนด้วยกลุ่มสีได้ เช่น สีแดงที่มีระดับความสว่างโดยประมาณเท่ากับความสว่างของสีระดับเทาที่ 3 ($L^*=80.6$) อาจใช้ 5 สีแรกของรูปที่ 7 (กลุ่มสีแดง) ได้ โดยสีส้มที่มีระดับความสว่าง $L^*=80.6$ เดียวกัน สามารถใช้จำนวนสีได้สูงสุด ดังแสดงใน 14 สีแรกจากด้านซ้ายของรูปที่ 7 (กลุ่มสีส้ม)



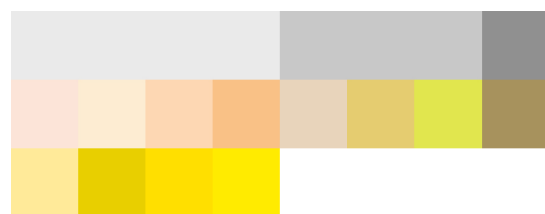
รูปที่ 6. ชื่อสีและระดับความสว่างที่มองเห็นได้ของกลุ่มสีที่มองเห็นชัดเจนและส่วนใหญ่ระบุชื่อสีตรงกัน



กลุ่มสีแดง



กลุ่มสีส้ม



กลุ่มสีเหลือง



กลุ่มสีเขียว



กลุ่มสีเทา

รูปที่ 7. สีที่มองเห็นชัดเจนและระดับความสว่างของสีที่มองเห็นผ่านตัวกรอง

เมื่อพิจารณาคัดเลือกสีที่สามารถระบุชื่อสีได้ตรงกับคนสายตาปกติและมีระดับความสว่างที่มองเห็นผ่านตัวกรองใกล้เคียงกับระดับความสว่างที่คนสายตาปกติมองเห็น จะได้กลุ่มสีที่ผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคต้อกระจกระดับมากมองเห็นได้ชัดเจนและมองเห็นสีและระดับความสว่างใกล้เคียงกับคนสายตาปกติมากที่สุด 23 สี จาก 180 สี ดังตารางที่ 3 จัดเรียงตามกลุ่มชื่อสีและความสว่างของสีจากมากไปน้อยเพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 3. สีที่มองเห็นใกล้เคียงกับคนสายตาปกติมากที่สุด

ลำดับที่	แถบสี	ชื่อสี	R	G	B
1		Green	198	218	135
2		Green	172	203	57
3		Green	159	190	99
4		Green	119	182	10
5		Green	98	174	140
6		Green	105	170	41
7		Green	64	164	113
8		Green	119	151	82
9		Green	99	141	12
10		Green	0	142	77
11		Green	0	137	85
12		Green	0	128	71

13		Orange	240	154	132
14		Orange	233	133	135
15		Orange	221	140	0
16		Orange	217	122	103
17		Orange	227	109	74
18		Orange	180	117	81
19		Red	209	0	53
20		Yellow	255	234	154
21		Yellow	255	235	0
22		Yellow	255	223	0
23		Yellow	229	204	113

สำหรับการนำกลุ่มสีเหล่านี้ไปใช้งานเพื่อเชื่อมโยงกับอารมณ์ความรู้สึก เมื่อพิจารณาพร้อมกับคำแนะนำจาก Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1 [15] และ [16] ที่ควรมีอัตราส่วนความคมชัด หรือ Contrast Ratio (CR) อย่างน้อย 7 เพื่อชดเชยการสูญเสียความไวต่อความเปรียบต่างสี (Contrast) ซึ่งพบในผู้สูงอายุที่มีสายตาสั้นและสำหรับผู้สูงอายุทั่วไป อัตราส่วนความคมชัด (CR) ควรมีอย่างน้อย 3

ตารางที่ 4-5 แสดงตัวอย่างการนำสีที่ผู้สูงอายุมองเห็นชัดเจนและมีความใกล้เคียงกับคนสายตาปกติ มาเชื่อมโยงกับคำศัพท์จาก Color Image Scale เพื่อสื่ออารมณ์ ความรู้สึก ภาพลักษณ์ต่าง ๆ พร้อมกลุ่มสีที่แนะนำสำหรับการมองเห็นแยกแยะง่าย ตัวอย่างสีแรกคือสีเขียว (ตารางที่ 3 ลำดับที่ 3) อยู่ในชุดสีสื่อความเป็นธรรมชาติ (Natural) ใน Key Image Word ลำดับที่ 18 ของ Color Image Scale มีกลุ่มสีแนะนำที่มีค่า CR $\geq$ 7 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ตัวอย่างสีเขียวสื่อความเป็นธรรมชาติ (Natural) และกลุ่มสีแนะนำ (CR $\geq$ 7)

ประเภท	ลำดับที่	แถบสี	R	G	B	CR
สีหลัก	1		159	190	99	1.00
กลุ่มสีแนะนำ (CR $\geq$ 7)	2		0	0	0	10.02
	3		30	17	60	8.35
	4		38	38	38	7.22

ตารางที่ 5 เป็นตัวอย่างของสีเหลือง (ตารางที่ 3 ลำดับที่ 20) ที่อยู่ในชุดสีให้ความรู้สึกอบอุ่นหัวใจ สงบ สุภาพอ่อนโยน (Calm)

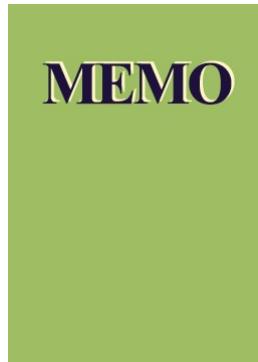
(Key Image Word ลำดับที่ 5) มีสีแนะนำที่มีค่า CR $\geq$ 7 และกลุ่มสีในชุดสี Calm ที่แนะนำ (CR $\geq$ 3) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ตัวอย่างสีเหลืองให้ความรู้สึกอบอุ่นหัวใจ สงบ สุภาพอ่อนโยน (Calm) และกลุ่มสีแนะนำ

ประเภท	ลำดับที่	แถบสี	R	G	B	CR
สีหลัก	1		255	234	154	1.00
	2		0	0	0	17.49
	3		30	17	60	14.57
	4		38	38	38	12.60
	5		74	0	92	12.10
	6		58	31	70	11.94
	7		38	42	94	11.10
	8		71	31	85	10.96
	9		54	38	112	10.48
	10		85	34	71	10.25
	11		0	59	77	10.09
	12		79	25	124	9.92
	13		114	0	73	9.65
	14		92	42	51	9.54
	15		50	46	132	9.40
	16		46	59	92	9.22
	17		1	62	110	9.13
	18		0	63	113	8.97
	19		123	21	62	8.66
	20		0	68	103	8.65
	21		65	63	90	8.39
	22		43	71	68	8.38
	23		137	0	55	8.25
	24		91	55	88	8.20
	25		89	63	45	8.05
	26		0	70	139	7.78
	27		36	80	86	7.42
	28		0	73	148	7.35
	29		35	80	97	7.31
	30		53	82	58	7.23
	31		75	73	96	7.22
	32		49	78	112	7.13
	33		0	82	123	7.01
สีแนะนำจากชุดสี Calm (CR $\geq$ 3)	34		180	117	81	3.12

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างการออกแบบโดยนำสีที่ผู้สูงอายุมองเห็นชัดเจน พิจารณาร่วมกับอัตราส่วนความคมชัด (Contrast Ratio; CR) และชุดสีสื่ออารมณ์จาก Color Image Scale โดยรูปที่ 8(a) เป็นการนำชุดสีจากตารางที่ 4 มาใช้ในการออกแบบสีของหน้าปกสมุดบันทึกเกี่ยวกับเทคนิคการปลูกต้นไม้และการจัด

ตกแต่ง จึงเลือกใช้ชุดสีสื่อความเป็นธรรมชาติ (Natural) โดยมีสีเขียวเป็นสีพื้นหลัก และเลือกใช้สีตัวอักษรลำดับที่ 3 ของตารางที่ 4 มีค่า CR เท่ากับ 8.35 เพื่อการมองเห็นอ่านง่ายสำหรับผู้สูงอายุ และได้แสงเงาเพิ่มมิติให้กับตัวอักษรด้วยสีเหลืองจากชุดสี Natural ที่มีค่าสี (R,G,B) เท่ากับ (255,246,199) รูปที่ 8(b) แสดงตัวอย่างการใช้สีแบบเรียบง่ายสำหรับการ์ดเชื่อมโยงให้ผู้สูงอายุ ประกอบด้วย 3 สีจากชุดสี Calm ของ Color Image Scale ได้แก่ สีแรกและสีสุดท้ายของตารางที่ 5 เป็นสีหลัก (CR≥3) และสีส้มอ่อน (ค่าสี R,G,B เท่ากับ 250,193,134) ตกแต่งด้านบนและเส้นกลางของการ์ด โดยสามสีหลักจากชุดสี Calm ทางฝั่งซ้ายของการ์ดนี้ ออกแบบสีเพื่อส่งความรู้สึกอบอุ่นหัวใจ อย่างสุภาพอ่อนโยน แก่ผู้สูงอายุ ให้ท่านมีความรู้สึกสงบอุ่นใจ และหายจากอาการป่วยโดยเร็ว สีข้อความและภาพหัวใจดวงเล็กเลือกใช้สีลำดับที่ 23 จากตารางที่ 5 ซึ่งเป็นหนึ่งในสีของกลุ่มสีแดงที่ผู้สูงอายุมองเห็นชัดเจนในรูปที่ 7 และมีค่า CR≥7 เพื่อให้ง่ายต่อการอ่านข้อความและแยกแยะภาพขนาดเล็กสำหรับผู้สูงอายุ



(a) สีปึกสมุดบันทึกสื่อความเป็นธรรมชาติ



(b) สีการ์ดเชื่อมโยงส่งความรู้สึกอบอุ่นหัวใจ
รูปที่ 8. ตัวอย่างการออกแบบสีที่มองเห็นชัดเจนและสื่ออารมณ์ความรู้สึกสำหรับผู้สูงอายุ

ซึ่งเมื่อนำผลการออกแบบไปสอบถามข้อมูลเบื้องต้นกับผู้สูงอายุ พบว่าสามารถมองเห็นภาพและข้อความได้ชัดเจน สัมผัสเห็นง่าย สบายตา โดยตัวอย่างการออกแบบสีปึกสมุดบันทึกในรูปที่ 8(a) นั้น ผู้สูงอายุสามารถรับรู้ถึงความเป็นธรรมชาติได้ และยังให้ความรู้สึกเย็นตา ไม่เครียดอีกด้วย สำหรับตัวอย่างการออกแบบสีการ์ดเชื่อมโยงในรูปที่ 8(b) ผู้สูงอายุรู้สึกสบายตา อุ่นใจ และบางท่านรู้สึกมีกำลังใจทำให้ผู้ป่วยเร็วขึ้นอีกด้วย นอกจากนั้นยังมีข้อเสนอแนะต่อการออกแบบในผลงานชิ้นอื่นๆ ว่าสีค่อนข้างมืด ไม่สดใส ส่งผลต่อการรับรู้ทางอารมณ์ ทำให้รู้สึกไม่ค่อยสดชื่นหรือไม่มีพลังได้ โดยเฉพาะในสีที่เป็นส่วนของพื้นหลัง จึงได้ทดลองปรับแก้ไข เพิ่มความสว่างและความสด มีผลทำให้ผู้สูงอายุมีการรับรู้ทางความรู้สึกดีขึ้น ซึ่งจากข้อเสนอแนะเบื้องต้นนี้ จึงแนะนำให้มีการปรับเพิ่มความสว่างและความสดในสีที่มีความสว่างปานกลางหรือน้อย เพื่อให้การรับรู้ทางความรู้สึกของผู้สูงอายุดียิ่งขึ้น ดังนั้นการออกแบบสีสำหรับผู้สูงอายุโดยเฉพาะผู้ป่วยต้องกระจกระดืบมาก ควรเลือกใช้โทนสีแดง ส้ม เหลือง เขียวที่ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นได้ง่าย และมีอัตราส่วนความคมชัด (Contrast Ratio) สูงเพื่อการมองเห็นแยกแยะที่ดี การเลือกใช้กลุ่มสีอย่างเหมาะสมสามารถนำแนวทางจาก Color Image Scale มาประยุกต์ใช้เพื่อคัดเลือกสีที่ช่วยกระตุ้น สื่ออารมณ์ ความรู้สึก และควรปรับเพิ่มความสว่าง ความสดของสีในกรณีที่มีระดับค่อนข้างน้อย โดยคำนึงถึงการมองเห็นสีและการแยกแยะข้อมูลได้ดีควบคู่ไปด้วย

4. บทสรุปและการอภิปราย

จากการศึกษาจำลองการมองเห็นสีและระดับความสว่างของผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคต้องกระจกระดืบมาก ผ่านตัวกรองอะคริลิกสีเหลืองและตัวกรองแบบขุ่น โดยใช้ชุดสีทดสอบจาก Color Image Scale เพื่อประยุกต์ใช้งานร่วมกับการสื่อสารอารมณ์ความรู้สึกจากสี พบว่ากลุ่มสีที่สามารถมองเห็นชัดเจนสำหรับผู้สูงอายุและมีความใกล้เคียงกับคนสายตาปกติมากที่สุดอยู่ในกลุ่มของโทนสีร้อน ได้แก่ กลุ่มสีเขียว สีส้ม สีแดง และสีเหลือง โดยในการออกแบบสีสื่ออารมณ์สำหรับผู้สูงอายุนั้น นอกจากจะคำนึงถึงกลุ่มสีที่ผู้สูงอายุมองเห็นรับรู้ได้ดี มีความสอดคล้องกับชุดสีของคำศัพท์ที่แสดงอารมณ์ ความรู้สึก ภาพลักษณ์ต่าง ๆ ของ Color Image Scale แล้ว การเลือกอัตราส่วนความคมชัดหรือ Contrast Ratio ที่มีค่าสูง ไม่น้อยกว่า 3 หรือ 7 จะทำให้การมองเห็นแยกแยะดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำ

วิธีการของตัวอย่างการออกแบบสีในงานวิจัยนี้ เป็นแนวทางหรือปรับประยุกต์ในการออกแบบสีของสื่อดิจิทัล ป้ายเครื่องหมายสัญลักษณ์ต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์หรือผลงานอื่น ๆ สำหรับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้สูงอายุหรือผู้ที่เป็นโรคต้อกระจกได้ นอกจากนั้นยังควรสื่อความซับซ้อนของข้อมูลด้วยความแตกต่างของการใช้สี รูปร่าง และการแสดงข้อสี เพื่อให้ข้อมูลสามารถเข้าถึงได้โดยผู้คนหลากหลายกลุ่มให้ได้มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก Takahashi Industrial and Economic Research Foundation

เอกสารอ้างอิง

- [1] Art Therapy, “Color Therapy & Healing – An Introduction,” *arttherapyblog.com*. [Online]. Available: <http://www.arttherapyblog.com/online/color-therapy-healing-an-introduction>. [Accessed Mar. 11, 2022].
- [2] National Legislative Assembly of Thailand, “Aged Society : National Agenda,” 2018. [Online]. Available: https://www.senate.go.th/document/Ext17951/17951564_0004.PDF [Accessed Mar. 11, 2022].
- [3] Japanese Society for Cataract Research, “Cataract Self-Diagnosis Test,” *jscr.net*. [Online]. Available: <http://www.jscr.net/ippan/page-010.html>. [Accessed Mar. 11, 2022].
- [4] L. Pukhaow, P. Saenprasarn, and K. Huttrungsri, “Developing model of generosity participatory nursing among cataract surgery patients as of Swanson’s theory, Pathum thani hospital,” *Journal of Health Science*, vol. 29, no. 5, pp. 864–875, Sep. - Oct. 2020.
- [5] H. Nagumo, *New Color Image Chart*. Tokyo, Japan: Graphic-sha, 2016.
- [6] N. Sungvorawongphana, R. Subgranon, P. Pungrasamee, C. Sumngern, and T. Obama, “The color vision of elderly under difference illuminance,” *The Journal of Faculty of Nursing Burapha University*, vol. 23, no. 1, pp. 13–25, Jan. - Mar. 2015.
- [7] J. Kawaguchi, S. Shoyama, T. Danno, and Y. Tochihara, “Effect of color discrimination ability and visual acuity in their living environments of the elderly,” *Journal of Human and Living Environment*, vol. 12, no. 1, pp. 21–26, 2005.
- [8] C. Chivaran, M. Zallio, S. Waller, and P. J. Clarkson, “Visual accessibility and inclusion An exploratory study to understand visual accessibility in the built environment,” *SMART ACCESSIBILITY 2021 : The Sixth International Conference on Universal Accessibility in the Internet of Things and Smart Environments*, 2021, pp. 1–7.
- [9] Suwa Branch of the Youth Committee of the Architects Association of Nagano Prefecture, “Elderly-friendly Color Plan,” 2001. [Online]. Available: <https://www.arcsuwa.com/wp-content/uploads/2020/03/koureisyaniyasii.pdf> [Accessed Mar. 11, 2022].
- [10] University of Cambridge, “Clari-Fi,” [Online]. Available: http://clarifi.inclusivedesign toolkit.com/screenshot_intro. [Accessed Mar. 11, 2022].
- [11] University of Cambridge, “Impairment Simulator Software,” [Online]. Available: <http://www.inclusivedesign toolkit.com/simsoftware/sims ofware.html>. [Accessed Mar. 11, 2022].
- [12] I. Kei, “Color universal design : Towards barrier-free design for diverse color visions,” *Journal of Information Processing and Management*, vol. 55, no. 5, pp. 307–317, Aug. 2012.
- [13] S. Ishihara, *Tests for Colour-Blindness*. Tokyo, Japan: Kanehara, 1972.
- [14] M. Yamamoto, Y.-H. Lim, N. Aoki, and H. Kobayashi, “On the preferred reproduction of flesh color in Japan and south Korea, investigated for all generation,” *Journal of The Society of Photographic Science and Technology of Japan*, vol. 65, no. 5, pp. 363–368, Sep. 2002.
- [15] World Wide Web Consortium, “Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1,” 2018. [Online].

Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG21>. [Accessed Mar. 11, 2022].

- [16] M. A. Jadcowski, "Understanding Recommended Color Contrast," *eldertech.org*, Jan. 11, 2017. [Online]. Available: <https://eldertech.org/color-contrast-apps-for-older-adults>. [Accessed Mar. 11, 2022].



โพรโทคอลพิสูจน์ทราบตัวจริงและปลอดภัยที่น้ำหนักเบาสำหรับสมาร์ตโฮมด้วย
เทคโนโลยีบล็อกเชน

**Lightweight Authentication and Secure Communication Protocol
for Smart Home with Blockchain Technology**

ปิยวิทย์ คุ้มครอง, ภูมิจิต ภูมินาถ, ฟารีด หมานเหล็บ, ชาลี ธรรมรัตน์* และ วาญญู ยอดทอง

Piyawit Khumkrong, Bhoomjit Bhoominath, Fareed Marnleb, Chalee Thammarat and Watanyou*

Yodthong

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Faculty of Engineering and Technology, Mahanakorn University of Technology

Received: June 04, 2022; Revised: December 12, 2022; Accepted: December 13, 2022; Published: December 30, 2022

ABSTRACT – Nowadays, smart home technology has been developed and applied widely. Applications includes automatic light on-off and air conditioning control systems where users can send commands to a device gateway or an Internet of Things (IoT) device via smartphones as needed. During the last few years, many research papers have investigated security and authentication protocols. However, it is still lack of consideration for the power constraints of IoT devices. This research paper presents a security and authentication protocol which reduces the use of encryption and hash functions. Therefore, it consumes less power in the operation and, hence, complies with the power limitation of IoT and mobile devices. We also introduce examples of how to use the protocol with blockchain technology.

KEYWORDS: Smart Home, IoT, Lightweight Protocol, Authentication Protocol

บทคัดย่อ -- ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและนำเทคโนโลยีสมาร์ตโฮม(Smart Home) มาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวัน เช่น ระบบเปิด-ปิดไฟอัตโนมัติ ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้งานสามารถควบคุมอุปกรณ์เหล่านี้ผ่านสมาร์ตโฟน(Smart Phone)ให้สามารถส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์เกตเวย์ (Gateway Device) หรืออุปกรณ์ Internet of Things (IoT) ได้ตามต้องการ มีงานวิจัยจำนวนมากได้ได้นำเสนอความมั่นคงปลอดภัยของการใช้งานสมาร์ตโฮมและได้นำเสนอโพรโทคอลความมั่นคงปลอดภัยเช่น การพิสูจน์ทราบตัวจริง การรักษาความลับและการคงสภาพข้อความแต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่นำเสนอจำนวนมากยังขาดการคำนึงถึงข้อจำกัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เหล่านั้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอความมั่นคงปลอดภัยและการพิสูจน์ทราบตัวจริงที่ลดการใช้การเข้ารหัสลับ(Encryption) และการใช้งานฟังก์ชันแฮช (Hash Function)แต่ยังคงความมั่นคงปลอดภัยอยู่และงานวิจัยนี้ได้เสนอยังใช้พลังงานน้อยเพื่อเหมาะสมกับข้อจำกัดด้านพลังงานของอุปกรณ์เกตเวย์และอุปกรณ์IoT สุดท้ายนี้งานวิจัยนี้ยังได้เสนอแนวทางการนำไปใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีบล็อกเชน

คำสำคัญ: สมาร์ตโฮม, IoT, โพรโทคอลน้ำหนักเบา, โพรโทคอลพิสูจน์ทราบตัวจริง

*Corresponding Author: chalee23@gmail.com

1. บทนำ

ปัจจุบัน Internet of Things (IoT) เทคโนโลยีถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดวิวัฒนาการในด้านการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานและเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่จะอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก เช่น การบอกสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า การสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสมาร์ทโฟน เป็นต้น โดยอาศัยการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายภายในบ้านเช่น ZigBee, Zwave [1] และ Wi-Fi ซึ่งเป็นเครือข่ายไร้สาย มีความเสี่ยงในด้านความมั่นคงปลอดภัยที่อาจถูกดักข้อความ ปลอมแปลงข้อความ หรือ สวมรอยเข้ามาในสมาร์ทโฮม งานวิจัยความมั่นคงปลอดภัยสมาร์ทโฮม(Smart Home) [2, 3, 4, 5] ได้นำเสนอวิธีการรักษาความมั่นคงปลอดภัยการพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกัน (Mutual Authentication) การรักษาความลับ (Confidentiality) และการคงสภาพของข้อความ (Integrity) แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยจำนวนมาก ที่ได้นำเสนอยังขาดการคำนึงถึงข้อจำกัดด้านการใช้พลังงานของอุปกรณ์ IoT [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9] และด้านของความมั่นคงปลอดภัยยังขาดความสามารถในการป้องกันการโจมตีโดยการดักฟังข้อความ (Eavesdropping Attack) [2, 4, 5, 6, 7]

บทความวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอความมั่นคงปลอดภัยการพิสูจน์ทราบตัวจริงอุปกรณ์สมาร์ทโฮม นอกจากนี้โปรโตคอลที่ได้นำเสนอจะใช้พลังงานน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอลที่มีอยู่ เนื่องจากใช้เพียงการเข้ารหัสลับแบบสมมาตร (Symmetric Encryption) และฟังก์ชันแฮช (Hash Function) ขณะที่ยังคงมีคุณสมบัติความมั่นคงปลอดภัยที่จำเป็น เช่น การพิสูจน์ทราบตัวจริง การรักษาความลับ และการคงสภาพของข้อความ นอกจากนี้ยังมีใช้เทคนิคการกระจายคีย์ เพื่อป้องกันการใช้งานคีย์ซ้ำเพื่อป้องกันการโจมตีการส่งข้อความซ้ำ

บทความวิจัยฉบับนี้มีโครงสร้างดังนี้ บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 นำเสนองานวิจัย บทที่ 4 วิเคราะห์ความมั่นคงปลอดภัย บทที่ 5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลที่นำเสนอ บทที่ 6 การตรวจสอบความมั่นคงงานวิจัย

ที่นำเสนอปลอดภัยด้วย Scyther Tool บทที่ 7 เสนอแนวความคิดการนำบล็อกเชนมาประยุกต์ใช้ในระบบสมาร์ทโฮม และ บทที่ 8 สรุปผลการวิจัย

2. พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

Smart home เป็นการนำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ต ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นอย่างก้าวกระโดดในปัจจุบันทำให้ต้นทุนของอุปกรณ์เหล่านี้มีราคาถูกลง ทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้งานในการติดตาม ควบคุม บริหารจัดการและทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้า [10] แต่ทั้งนี้ด้วยโครงสร้างการทำงานที่ต้องอาศัยเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จึงต้องคำนึงถึงความมั่นคงปลอดภัยที่จะสามารถป้องกันภัยคุกคามจากผู้ที่ไม่หวังดี เข้ามาสอดแนม ขัดขวางหรือสร้างอันตรายแก่สมาร์ทโฮมได้ หรือแม้กระทั่งโดนควบคุมเพื่อใช้ในการโจมตี [11] จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าสมาร์ทโฮมนั้นยังมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้านโดยข้อจำกัดและก่อให้เกิดช่องโหว่ เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้พลังงานน้อยและกำลังในการประมวลผลต่ำ [12, 13, 14]

บล็อกเชน (Blockchain) คือ เทคโนโลยีที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้กับระบบการเก็บข้อมูลแบบโครงสร้าง (Data Structure) ซึ่งไม่มีศูนย์กลางในการจัดเก็บ ข้อมูลจะถูกแชร์และจัดเก็บเป็นสำเนาไว้ในโหนด (Node) ของเครือข่ายบล็อกเชนที่ใช้โครงสร้างข้อมูลเดียวกันเสมือนห่วงโซ่ (Chain) [15] โดยทุกโหนดจะรับทราบร่วมกันว่าใครเป็นเจ้าของข้อมูล เมื่อมีเพิ่มข้อมูลใหม่จะสำเนาข้อมูลในโครงสร้างข้อมูลเดียวกันให้กับทุกโหนดในเครือข่ายบล็อกเชน บล็อกเชนเป็นนวัตกรรมที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อพิสูจน์ธุรกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบหรือเครือข่าย โดยการบันทึกบัญชีแบบกระจายอำนาจ ที่ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความถูกต้องซึ่งกันและกันได้ อีกทั้งความสามารถที่ป้องกันการเปลี่ยนแปลงข้อมูล โดยการตรวจสอบย้อนหลังจากบล็อกก่อนหน้า เป็นที่มาของคำว่าบล็อกเชนและด้วยความสามารถนี้จึงสามารถนำเอามาประยุกต์ใช้กับระบบสมาร์ท

โสมได้เป็นอย่างดี ทั้งในการรักษาความปลอดภัย ความถูกต้องของข้อความ และธุรกรรมที่เกิดขึ้นทั้งหมด และยังสามารถใช้เพื่อกำหนดสิทธิ์การเข้าถึง หรือเงื่อนไขอื่น ๆ โดยใช้ชุดคำสั่งผ่านองค์ประกอบอย่าง Smart Contract ผ่านแพลตฟอร์ม Ethereum [16]

3. งานวิจัยที่น่าสนใจ

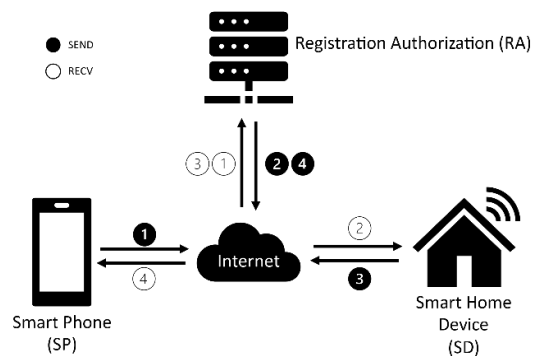
หัวข้อที่น่าสนใจของโพรโทคอลเพื่อแก้ไขปัญหาและข้อจำกัดของงานวิจัยที่มีอยู่ได้แก่คุณสมบัติความมั่นคงปลอดภัยเช่น การพิสูจน์ทราบตัวจริง ความคงสภาพของข้อความและการรักษาความลับของข้อความและทนทานต่อการโจมตีเช่น การดักฟังข้อความ (Eavesdropping Attack) การปลอมแปลง (Impersonation Attack) การโจมตีแบบคนกลาง (Man-in-the-Middle Attack) การปลอมตัว (Masquerade Attack) การปลอมข้อความ (Message-Forgery Attack) และการโจมตีแบบซ้ำ (Replay Attack) งานวิจัยนี้ได้กำหนดสัญลักษณ์เพื่อใช้ในการอธิบายโพรโทคอลและคำอธิบายของสัญลักษณ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องหมายและความหมายในบทความวิจัย

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
RA	เซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ลงทะเบียน (Registration Authorization)
SP	สมาร์ทโฟน (Smart Phone)
SD	อุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart Home Device)
ID _{SP}	เอกลักษณ์ของ SP
ID _{SD}	เอกลักษณ์ของ SD
SN _{SP}	หมายเลขประจำเครื่อง SP
SN _{SD}	หมายเลขประจำอุปกรณ์ SD
MK	มาสเตอร์คีย์

SK	เซสชันคีย์
H(•)	ฟังก์ชันแฮช
T	การประทับเวลา
N	นอนซ์ (Nonce) คือค่าสุ่ม
E{•}	เข้ารหัสลับแบบสมมาตร (Symmetric Encryption)
ΔT	ค่าเฉลี่ยสูงสุดของการส่งข้อความ

ในส่วนนี้จะเป็นการนำเสนอโพรโทคอลที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนการลงทะเบียน (RegisterPhase) และการพิสูจน์ทราบตัวจริงและกระจายเซสชันคีย์ (Authentication and Key Agreement Phase) โดยจะมีการทำงานร่วมกันระหว่าง SP, RA และ SD รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอลที่น่าสนใจ



รูปที่ 1. โครงสร้างการเชื่อมต่อของสมาร์ทโสม

3.1 การลงทะเบียน (Register Phase)

วัตถุประสงค์การลงทะเบียนเพื่อแชร์มาสเตอร์คีย์ระหว่าง RA และ SP แชร์มาสเตอร์คีย์ MK_{RA-SP} ดำเนินการผ่านช่องทางที่มีความมั่นคงปลอดภัยเช่น SSL (Secure Socket Layer) หรือ Wireless Transport Layer Security (WTLS) และระหว่าง RA

และ SD แห้วมาสเตอร์คีย์ MK_{RA-SD} ดำเนินการผ่านช่องทางที่มีความมั่นคงปลอดภัยเช่น SSL หรือ WTLS

3.2 การพิสูจน์ทราบตัวจริงและการกระจายเซสชันคีย์ (Authentication and Key Agreement Phase)

Step 1: $SP \rightarrow RA: \{ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, A\}$

Step 2: $RA \rightarrow SD: \{ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T2, N2, C\}$

Step 3: $SD \rightarrow RA: \{SN_{SD}, T3, N3, D\}$

Step 4: $RA \rightarrow SP: \{SN_{SD}, T4, N4, F\}$

Step 5: $SP \rightarrow SD: \{SK_{SP-SD}\{Message_i, T_i\}\}$

จากโพรโทคอลด้านบนเป็นการพิสูจน์ทราบตัวจริงและการกระจายเซสชันคีย์สามารถอธิบายดังนี้

Step 1: $SP \rightarrow RA: \{ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, A\}$

- SP ดำเนินการประทับเวลา T1
- SP ทำการสุ่มค่านอนซ์ตัวแปร N1
- SP คำนวณค่า $A = H(ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, MK_{RA-SP})$
- SP ส่งข้อความ $\{ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, A\}$ ไปยัง RA
- SP บันทึกค่า T1, N1 ไว้ในหน่วยความจำ

รูปที่ 1 ตามลำดับเส้นเชื่อมโยงจาก ① ส่งข้อความไป ①

Step 2: $RA \rightarrow SD: \{ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T2, N2, C\}$

- RA ดำเนินการประทับเวลาปัจจุบัน T2 และทำการตรวจสอบ $T2 - T1 < \Delta T$ ว่าเป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง RA จะดำเนินการต่อไปหากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารทันที
- RA คำนวณค่า A^* โดยการนำค่า $ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1$ ที่ได้รับจาก SP และมาสเตอร์คีย์ที่ใช้ร่วมกันระหว่าง RA และ SD (MK_{RA-SD}) ที่มีการแชร์ระหว่างกันตั้งแต่ขั้นตอนของการลงทะเบียนมาเข้าฟังก์ชันแฮชโดย $A^* = H(ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, MK_{RA-SP})$ และดำเนินการตรวจสอบ $A^* = A$ เป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง RA จะดำเนินการ

ต่อไปหากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารกับ SP ทันที

- RA ทำการสุ่มค่านอนซ์โดยใช้ตัวแปร N2
- RA ดำเนินการกำหนดค่าเซสชันคีย์ที่จะใช้ระหว่าง SP และ SD (SK_{SP-SD})
- RA คำนวณค่า $B = H(ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T2, N2, SK_{SP-SD})$
- RA นำค่า B และ SK_{SP-SD} มาเข้ารหัสลับด้วย MK_{RA-SD} โดย $C = EMK_{RA-SD}\{SK_{SP-SD}, B\}$
- RA ส่งข้อความ $\{ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T2, N2, C\}$ ไปยัง SD
- RA ดำเนินการบันทึกค่า $ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, SK_{SP-SD}$ และ C ในหน่วยความจำ

รูปที่ 1 ตามลำดับเส้นเชื่อมโยงจาก ② ส่งข้อความไป ②

Step 3: $SD \rightarrow RA: \{SN_{SD}, T3, N3, D\}$

- SD เมื่อได้รับข้อความจาก RA ดำเนินการประทับเวลาปัจจุบัน T3 และทำการตรวจสอบ $T3 - T2 < \Delta T$ ว่าเป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง SD จะดำเนินการต่อไป แต่หากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารกับ RA ทันที
- SD ดำเนินการถอดรหัสลับข้อความ C ด้วย MK_{RA-SD} ซึ่งจะทำให้ SD ทราบค่า SK_{SP-SD} และ B
- SD คำนวณค่า B^* โดยนำค่า $ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T2, N2$ และ SK_{SP-SD} ที่ได้จากการถอดรหัสลับมาเข้าฟังก์ชันแฮชแบบทางเดียว โดย $B^* = H(ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T2, N2, SK_{SP-SD})$ และดำเนินการตรวจสอบ $B^* = B$ ว่าเป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง SD จะดำเนินการต่อไปหากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารกับ RA ทันที
- SD ทำการสุ่มค่านอนซ์ตัวแปร N3
- SD คำนวณค่า $D = H(SN_{SD}, T3, N3, C, MK_{RA-SD})$
- SD ส่งข้อความ $\{SN_{SD}, T3, N3, D\}$ ไปยัง RA

ในรูปที่ 1 ตามลำดับเส้นเชื่อมโยงจาก ③ ส่งข้อความไป ③

Step 4: $RA \rightarrow SP: \{SN_{SD}, T4, N4, F\}$

- RA ดำเนินการประทับเวลาปัจจุบัน T4 และทำการตรวจสอบ $T4 - T3 < \Delta T$ ว่าเป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง

RA จะดำเนินการต่อไปหากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารทันที

- RA คำนวณค่า D^* โดยการนำค่า SN_{SD} , $T3$, $N3$, MK_{RA-SD} ซึ่งเป็นมาสเตอร์คีย์ที่มีการแชร์ระหว่างกันตั้งแต่ขั้นตอนของการลงทะเบียน และค่า C ในหน่วยความจำมาเข้าฟังก์ชันแฮชทางเดียวโดย $D^* = H(SN_{SD}, T3, N3, C, MK_{RA-SD})$ และดำเนินการตรวจสอบ $D^* = D$ เป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง RA จะดำเนินการต่อไปแต่หากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารกับ SD ทันที
RA ทำการสุ่มค่านอนซ์ใช้ตัวแปร $N4$
- RA คำนวณค่า E โดยการนำค่าที่อยู่ในหน่วยความจำได้แก่ ID_{SP} , ID_{SD} , SN_{SP} , $T1$, $N1$, ค่าของตัวแปรที่ได้รับจาก SD ได้แก่ SN_{SD} รวมถึงค่าเวลาปัจจุบัน $T4$, ค่านอนซ์ที่ดำเนินการสุ่มขึ้น $N4$ และค่ามาสเตอร์คีย์ MK_{RA-SP} ซึ่งแชร์กันตั้งแต่ขั้นตอนของการลงทะเบียน มาเข้าฟังก์ชันแฮชโดย $E = H(ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, SN_{SD}, T4, N4, MK_{RA-SP})$
- RA นำค่า E และ SK_{SP-SD} ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาเข้ารหัสลับด้วยมาสเตอร์คีย์ที่แชร์กันระหว่าง RA และ SP (MK_{RA-SP}) โดย $F = EMK_{RA-SP}\{SK_{SP-SD}, E\}$
- RA ส่งข้อความ $\{SN_{SD}, T4, N4, F\}$ ไปยัง SP

Step 5: SP $\rightarrow$ SD: $\{SK_{SP-SD}\{Message_i, Ti\}\}$

- SP ดำเนินการประทับเวลาปัจจุบัน Ti และทำการตรวจสอบ $Ti - T4 < \Delta T$ ว่าเป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง SP จะดำเนินการต่อไปหากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารทันที
- SP ดำเนินการถอดรหัสลับข้อความ F ด้วย MK_{RA-SP} จะทำให้ SP ทราบค่า SK_{SP-SD} และ E
- SP คำนวณค่า E^* โดยการนำค่า ID_{SP} , ID_{SD} , SN_{SP} , $T1$, $N1$ ในหน่วยความจำ ค่า SN_{SD} , $T4$, $N4$ ที่ได้รับจาก RA และมาสเตอร์คีย์ MK_{RA-SP} ที่มีการแชร์ร่วมกันตั้งแต่ขั้นตอนการลงทะเบียนมาเข้าฟังก์ชันแฮช โดย $E^* = H(ID_{SP}, ID_{SD}, SN_{SP}, T1, N1, SN_{SD}, T4, N4, MK_{RA-SP})$ และดำเนินการตรวจสอบ $E^* = E$ เป็นจริงหรือไม่หากเป็นจริง SP จะ

ดำเนินการต่อไปหากไม่เป็นจริงจะดำเนินการยุติการติดต่อสื่อสารทันที

- SP กำหนด $Message_i$ ในการติดต่อสื่อสารกับ SD
 - SP นำ $Message_i$ และ Ti มาเข้ารหัสลับด้วยเซสชันคีย์ SK_{SP-SD}
 - SP ส่งข้อความ $\{SK_{SP-SD}\{Message_i, Ti\}\}$ ไปยัง SD
- รูปที่ 1 ตามลำดับเส้นเชื่อมโยงจาก 4 ส่งข้อความไป 4 ทั้ง SP และ SD ใช้เซสชันคีย์ SK_{SP-SD} ในการติดต่อสื่อสาร เซสชันคีย์ SK_{SP-SD} จะถูกสร้างใหม่เมื่อหมดอายุ

4. การวิเคราะห์ความมั่นคงปลอดภัยของโปรโตคอลนำเสนอ

4.1 การโจมตีโดยการดักฟังข้อความ (Eavesdropping Attack)

ผู้โจมตีหรือผู้ไม่ประสงค์ดีดักฟังข้อความที่ติดต่อสื่อสาร โปรโตคอลที่นำเสนอสามารถป้องกันการดักฟังข้อความที่ติดต่อสื่อสารได้เนื่องจากในแต่ละข้อความที่ติดต่อสื่อสารมีการเข้ารหัสลับทุกครั้งในการติดต่อสื่อสาร เมื่อผู้โจมตีการดักจับข้อความก็จะไม่สามารถถอดข้อความและอ่านข้อความเข้าใจได้ การเข้ารหัสลับโปรโตคอลที่นำเสนอทำให้ยืนยันได้ว่าข้อความที่ส่งหากันมีความมั่นคงปลอดภัย

4.2 การโจมตีโดยการปลอมแปลง (Impersonation Attack)

ผู้โจมตีหรือผู้ไม่ประสงค์ดีปลอมแปลงเป็นอุปกรณ์ที่มีการติดต่อสื่อสารที่ถูกต้อง เพื่อต้องการรับข้อความที่เป็นความลับระหว่างอุปกรณ์ที่มีการติดต่อสื่อสารกัน โปรโตคอลที่นำเสนอสามารถป้องกันการปลอมแปลงเป็นอุปกรณ์ที่มีการติดต่อสื่อสาร ไม่สามารถปลอมแปลงเป็นอุปกรณ์ที่มีการติดต่อสื่อสารที่ถูกต้อง เนื่องจากมีการใช้มาสเตอร์คีย์ที่มีการเข้ารหัสลับและมีการพิสูจน์ทราบตัวจริงระหว่างอุปกรณ์ หากจะปลอมแปลงเป็นอุปกรณ์ฝั่งใดฝั่งหนึ่งจำเป็นต้องมีมาสเตอร์คีย์ที่ตรงกันเพื่อถอดข้อความที่ติดต่อสื่อสาร

4.3 การโจมตีแบบคนกลาง (Man-in-the-Middle Attack)

โจมตีหรือผู้ไม่ประสงค์ดีอยู่ตรงกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการติดต่อสื่อสาร

ระหว่างอุปกรณ์ การโจมตีประเภทนี้โจมตีหรือผู้ไม่ประสงค์ดีไม่สามารถถอดข้อความและอ่านข้อความเข้าใจได้ เนื่องจากในแต่ละข้อความที่ติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์มีการเข้ารหัสลับทุกครั้ง

4.4 การโจมตีโดยการปลอมตัว (Masquerade Attack)

ผู้โจมตีหรือผู้ไม่ประสงค์ดีปลอมตัวเป็นอุปกรณ์ที่มีการติดต่อสื่อสารที่ถูกต้อง เพื่อรับข้อความและส่งข้อความที่เป็นความลับจากอุปกรณ์ที่มีการติดต่อสื่อสารที่ถูกต้อง โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถป้องกันการปลอมตัวประเภทนี้ได้ โดยการใช้การพิสูจน์ทราบตัวจริงทั้งอุปกรณ์ส่งข้อความและอุปกรณ์รับข้อความสามารถตรวจสอบได้ทั้งสองฝั่ง

4.5 การโจมตีโดยการปลอมข้อความ (Message-Forgery Attack)

การโจมตีประเภทนี้ผู้โจมตีหรือผู้ไม่ประสงค์ดีกระทำการปลอมข้อความที่ติดต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ที่ถูกต้อง โพรโทคอลที่นำเสนอมีการใช้รหัสที่ตรงกันทั้งสองฝั่งและการใช้ค่านอนซ์นอกจากนี้ยังใช้ฟังก์ชันแฮชเพื่อใช้ตรวจสอบทราบตัวจริงของข้อความ ทำให้การโจมตีประเภทนี้ไม่ประสบความสำเร็จ

4.6 การพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกัน (Mutual Authentication)

โพรโทคอลที่นำเสนอใช้รหัสที่ตรงกันทั้งสองฝั่งและแฮชฟังก์ชันทำให้สามารถพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกันของแต่ละฝ่าย พิสูจน์ได้ว่าใครเป็นผู้รับข้อความและใครเป็นคนส่งข้อความจะไม่สามารถปลอมแปลงและแก้ไขการพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกันได้โดยสมบูรณ์

4.7 การต้านทานการโจมตีแบบทำซ้ำ (Replay Attack)

เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนของการส่งข้อความจะมีการเก็บบันทึกการประทับเวลา (Time Stamp) และค่านอนซ์ไว้ซึ่งไม่ซ้ำกันในแต่ละครั้ง จึงเป็นไปได้ที่จะใช้ข้อความที่ดักจับได้ส่งเข้ามาใหม่อีกครั้งเพราะ โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถตรวจสอบได้

4.8 การรักษาความลับของข้อความ (Message Confidentiality)

มีการเข้ารหัสด้วยรหัสลับและรหัสลับ ทำให้ข้อความที่ติดต่อสื่อสารมีคุณสมบัติการรักษาความลับ เนื่องจากการถอดรหัสลับได้นั้นอีกฝั่งหนึ่งจำเป็นต้องมีคีย์ที่ตรงกันจึงจะสามารถถอดรหัสลับนี้ได้

4.9 ความคงสภาพของข้อความ (Message Integrity)

มีการใช้ฟังก์ชันแฮช ทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าข้อความที่ส่งหากันยังคงสภาพเดิม ถูกต้อง และไม่ถูกแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงระหว่างทางจากบุคคลอื่นไม่ได้รับอนุญาต

5. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโพรโทคอล

โพรโทคอลที่นำเสนอมีการดำเนินการออกแบบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานและมีคุณสมบัติความมั่นคงปลอดภัยทนทานต่อการถูกโจมตี โดยมีการใช้การเข้ารหัสลับ การใช้ฟังก์ชันแฮช และจำนวนข้อความที่เหมาะสม

ตารางที่ 2. แสดงจำนวนการใช้ทรัพยากรการเข้ารหัสลับ

	[2]	[4]	[5]	[6]	[7]	Protocol
Symmetric Encryption	-	4	4	4	8	4
Asymmetric Encryption	4	-	-	-	-	-
Hash Function	17	12	22	16	26	5
Message	2	4	4	4	4	4

ตารางที่ 3. การใช้พลังงานวิทยาการเข้ารหัสลับ

	2	4	5	6	7	Our
AES	-	4.84	4.84	4.84	-	4.84
RSA	2,186	-	-	-	-	-
SHA1	12.92	9.12	16.72	12.16	19.76	3.8
Total	2,198	13.96	21.56	17	29.44	13.96

SymmetricEncryption (Advanced Encryption Standard (AES): 1.21 μ J), AsymmetricEncryption (Rivest–Shamir–Adleman (RSA): 546.5 μ J), Hash Function (Secure Hash Algorithm 1 (SHA1): 0.76 μ J)

จากตาราง 2 และ 3 จะแสดงให้เห็นถึงจำนวนครั้งในการใช้วิทยาการเข้ารหัสลับและการใช้พลังงานในวิทยาการเข้ารหัสลับเปรียบเทียบงานวิจัยที่มีอยู่กับงานวิจัยที่นำเสนอ โพรโทคอลที่นำเสนอใช้พลังงานน้อยกว่าโพรโทคอล [2, 5, 6, 7] ขณะที่โพรโทคอล [4] ใช้พลังงานเท่ากับโพรโทคอลที่นำเสนอ จึงทำให้การพิสูจน์ทราบตัวจริงระหว่างกัน มีประสิทธิภาพและใช้พลังงานน้อย พลังงานในวิทยาการเข้ารหัสลับอ้างอิงจาก [20, 21]

6. การตรวจสอบความมั่นคงปลอดภัยด้วย Scyther Tool

โพรโทคอลที่นำเสนอใช้ Scyther Tool [17] เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องและความมั่นคงปลอดภัยของโพรโทคอลที่ออกแบบ ได้แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 เป็นเอาท์พุทจากการรันโค้ด สถานะ OK หัวข้อดังนี้ Alive, Weakagree, Niagree และ Nisynchแสดงว่าโพรโทคอลที่นำเสนอถูกต้องและความมั่นคงปลอดภัยทนทานต่อการโจมตี

```
usertype String;
usertypeTimeStamp;
usertypeSessionKey;
hashfunction H;
const IDSP,IDRA,IDSD,SNSP,SNSD: String;
```

```
const MKRA-SP,MKRA-SD,SKSP-SD: SessionKey;

macro M1 = IDSP,IDSD,SNSP,T1,N1,H(IDSP,IDSD,SNSP,T1,N1,MKRA-SP);
macro M2 = IDSP,IDSD,SNSP,T2,N,{SKSP-SD,H(IDSP,IDSD,SNSP,T2,N2,SKSP-SD)}MKRA-SD;
macro M3 = SNSD,T3,N3,H(SNSD,T3,N3),{SKSP-SD,H(IDSP,IDSD,SNSP,T2,N2,SKSP-SD)}MKRA-SD;
macro M4 = SNSD,T4,N4,H(SNSD,T4,N4),{SKSP-SD,H(IDSP,IDSD,SNSP,T1,N1,SNSD,T4,N4,MKRA-SP)}MKRA-SP;

protocol AUKA(SP,RA,SD) {

    role SP {

        fresh T1,T4: TimeStamp;
        fresh N1,N4: Nonce;
        send_1(SP,RA,M1);
        recv_4(RA,SP,M4);
        claim_SP1(SP,Alive);
        claim_SP2(SP,Weakagree);
        claim_SP3(SP,Niagree);
        claim_SP4(SP,Nisynch);

    }

    role RA {

        fresh T1,T2,T3,T4: TimeStamp;
        fresh N1,N2,N3,N4: Nonce;
        recv_1(SP,RA,M1);
        send_2(RA,SD,M2);
        recv_3(SD,RA,M3);
        send_4(RA,SP,M4);
        claim_RA1(RA,Alive);
        claim_RA2(RA,Weakagree);
        claim_RA3(RA,Niagree);
        claim_RA4(RA,Nisynch);

    }

    role SD {

        fresh T2,T3: TimeStamp;
        fresh N2,N3: Nonce;
        recv_2(RA,SD,M2);
        send_3(SD,RA,M3);
        claim_SD1(SD,Alive);
        claim_SD2(SD,Weakagree);
        claim_SD3(SD,Niagree);
        claim_SD4(SD,Nisynch);

    }

}
```

รูปที่ 2. ซอร์สโค้ด Scyther Tool

Scyther results : verify

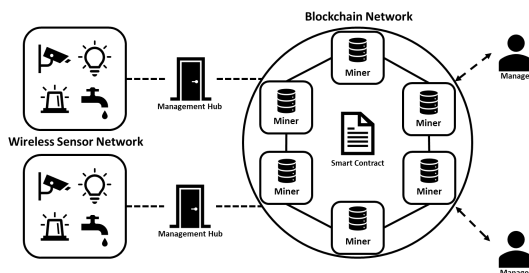
Claim				Status		Commen
AUKA	SP	AUKA,SP1	Alive	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,SP2	Weakagree	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,SP3	Niagree	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,SP4	Nisynch	Ok	Verified	No attacks.
RA		AUKA,RA1	Alive	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,RA2	Weakagree	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,RA3	Niagree	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,RA4	Nisynch	Ok	Verified	No attacks.
SD		AUKA,SD1	Alive	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,SD2	Weakagree	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,SD3	Niagree	Ok	Verified	No attacks.
		AUKA,SD4	Nisynch	Ok	Verified	No attacks.

Done.

รูปที่ 3. แสดงผลการทดสอบ Scyther Tool

7. แนวความคิดการนำบล็อกเชนมาประยุกต์ใช้ใน สมาร์ทโฮม

ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนส่วนตัว (Private Blockchain) มาใช้ร่วมกับสมาร์ทโฮม [18] โดยบล็อกเชนเข้ามาช่วยในส่วนของการกระจายการบริหารจัดการและการจัดเก็บข้อมูลซึ่งข้อมูลที่จัดเก็บจะเป็นความลับเปิดเผยเฉพาะคนที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น รวมไปถึงการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว โดยมีโครงสร้างตามรูปที่ 4 สามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 4. แสดงการนำบล็อกเชนมาใช้งานในระบบสมาร์ทโฮม

7.1 Wireless Sensor Network

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คอยรับส่งข้อมูลให้กับ IoT หรือสมาร์ทโฮม เช่น การวัดอุณหภูมิห้อง ณ ปัจจุบันและส่งข้อมูลอุณหภูมิไปจัดเก็บ เพื่อแสดงผลในภายหลัง หรือการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานให้ทำงานตามคำสั่งเช่นเปิด-ปิดไฟแสงสว่าง หรือเพิ่มลดอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ

7.2 Management Hub

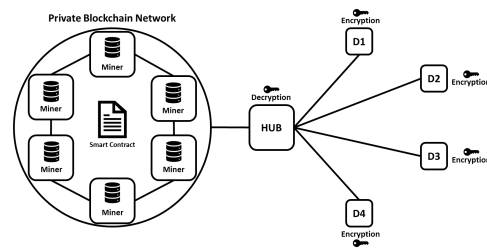
เป็นอุปกรณ์หรือระบบที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระบบระหว่างอุปกรณ์ IoT เปรียบเสมือนเกตเวย์ ที่จะทำหน้าที่รักษาความปลอดภัยของข้อมูลโดยการเข้ารหัสลับและถอดรหัสลับในการสื่อสารระหว่างกัน อีกทั้งยังมีหน้าที่ในการสื่อสารกับระบบบล็อกเชนเพื่อตรวจสอบสิทธิ์การเข้าถึง หรือบันทึกข้อมูลในระบบบล็อกเชน

7.3 Blockchain Network

เครือข่ายบล็อกเชนจะถูกกำหนดเป็นความลับเพื่อป้องกันไม่ให้ถูกเข้าถึงข้อมูลโดยที่ไม่ได้รับอนุญาตได้ และประกอบไปด้วย Miner ที่ทำหน้าที่ในการบำรุงรักษาระบบบล็อกเชนให้สามารถดำเนินการต่อไปได้ โดยมี Smart Contract ที่จะป็นชุดคำสั่ง [19] ที่จะเป็นตัวกำหนดควบคุมความสามารถของเครือข่ายบล็อกเชนเช่น การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงหรือการตรวจสอบสิทธิ์การเข้าถึง

7.4 Manager

ผู้บริหารจัดการระบบหรือผู้ใช้งานที่จะเป็นผู้เรียกใช้ข้อมูล ส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ หรือการบริหารจัดการระบบทั้งระบบบล็อกเชนและอุปกรณ์ IoT ในระบบสมาร์ทโฮม



รูปที่ 5. แสดงการนำบล็อกเชนมาใช้งานวิจัยที่นำเสนอ

จากรูปที่ 5 การนำบล็อกเชนมาใช้ร่วมกับโพรโทคอลที่ได้ออกแบบในบทความวิจัยนี้โดยการนิยามให้ระบบบล็อกเชนเสมือนกับเป็น Registration Authorization (RA) ที่ทำหน้าที่ในการเป็นตัวกลางให้กับสมาร์ทโฮม เพื่อจัดเก็บบันทึกข้อมูลกิจกรรมต่างๆ กระจายเซสชันคีย์ในการรักษาความลับระหว่างการรับส่งข้อมูล

8. สรุปผลการวิจัยและการอภิปราย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอโพรโทคอลสำหรับพิสูจน์ทราบตัวจริงซึ่งได้นำการกระจายเซสชันคีย์และการใช้แฮชฟังก์ชันมาใช้งานทำให้โพรโทคอลมีน้ำหนักเบาเหมาะสมกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายในปัจจุบันเพราะมีการคำนวณน้อย นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติความมั่นคงปลอดภัยเช่น การพิสูจน์ทราบตัวจริง การรักษาความลับของข้อความและการคงสภาพของข้อความ นอกจากนี้โพรโทคอลที่นำเสนอยังใช้พลังงานน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลที่มีอยู่ สุดท้ายความถูกต้องของโพรโทคอลถูกตรวจสอบด้วย Scyther Tool ทำให้มั่นใจได้ว่าโพรโทคอลที่นำเสนอมีความมั่นคงปลอดภัย

งานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยจะพัฒนาโปรแกรมต้นแบบโดยใช้โพรโทคอลที่นำเสนอร่วมกับเทคโนโลยีบล็อกเชนเพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] XX.C. Gomez, and J. Paradells, "Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies," IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 6, pp. 92–101, 2010.
- [2] M. Alshahrani, and I. Traore, "Secure mutual authentication and automated access control for IoT smart home using cumulative Keyed-hash chain," Journal of Information Security and Applications, vol. 45, pp. 156–175, 2019.
- [3] P. Kumar, A. Braeken, A. Gurtov, J. Iinatti, and P.H. Ha, "Anonymous Secure Framework in Connected Smart Home Environments," in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 12, no. 4, pp. 968-979, 2017.
- [4] Q. Lyu, N. Zheng, H. Liu, C. Gao, S. Chen, and J. Liu, "Remotely Access My Smart Home in Private: An Anti-Tracking Authentication and Key Agreement Scheme," in IEEE Access, vol. 7, pp. 41835-41851, 2019.
- [5] M. Wazid, A.K. Das, V. Odelu, N. Kumar, and W. Susilo, "Secure Remote User Authenticated Key Establishment Protocol for Smart Home Environment," in IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, vol. 17, no. 2, pp. 391-406, 2020.
- [6] M. Shuai, N. Yu, H. Wang, and L. Xiong, "Anonymous authentication scheme for smart home environment with provable security," Computers & Security, vol. 86, pp. 132-46, 2019.
- [7] S. Naoui, M. E. Elhdhili, and L.A. Saidane, "Lightweight and Secure Password Based Smart Home Authentication Protocol: LSP-SHAP," Journal of Network and Systems Management, 2019
- [8] S. Bhardwaj, T. Ozcelebi, J. Lukkien, and C. Uysal, "Resource and service management architecture of a low capacity network for smart spaces," Consumer Electronics, IEEE Transactions on, vol. 58, no. 2, pp. 389–396, 2012.
- [9] P. Kumar, A. Gurtov, J. Iinatti, M. Ylianttila, and M. Sain, "Lightweight and Secure Session-Key Establishment Scheme in Smart Home Environments," in IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 1, pp. 254-264, 2016.
- [10] S.S.I. Samuel, "A review of connectivity challenges in IoT-smart home," 2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC), Muscat, Oman, pp. 1-4, 2016.
- [11] C. Koliass, G. Kambourakis, A. Stavrou, and J. Voas, "DDoS in the IoT: Mirai and Other Botnets," in Computer, vol. 50, no. 7, pp. 80-84, 2017.
- [12] M. Yu, J. Zhuge, M. Cao, Z. Shi, and L. Jiang, "A Survey of Security Vulnerability Analysis, Discovery,

- Detection, and Mitigation on IoT Devices.” *Future Internet*, 12, 27, 2020.
- [13] A. Balte, A. Kashid, and B. Patil, “Security issues in Internet of things (IoT): A survey,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.* vol. 5, pp. 450–455, 2015.
- [14] F.A. Alaba, M. Othman, I.A.T. Hashem, and F. Alotaibi, “Internet of Things security: A survey,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 88, pp. 10–28, 2017.
- [15] S. Nakamoto, Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Available at <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, 2008.
- [16] G. Wood, “Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger,” *Ethereum project yellow paper*, vol. 151, pp. 1–32, 2014.
- [17] C.J.F. Cremers, “The scyther tool: verification, falsification, and analysis of security protocols,” In: *International Conference on Computer Aided Verification*. Springer, pp. 414–418, 2008.
- [18] A. Mukherjee, M. Balachandra, C. Pujari, S. Tiwari, A. Nayar, and S.R. Payyavula, “Unified smart home resource access along with authentication using Blockchain technology,” *1st International Conference on Advances in Information, Computing and Trends in Data Engineering (AICDE - 2020)*, pp. 29–34, 2020.
- [19] K. Christidis, and M. Devetsikiotis, “Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2292–2303, 2016.
- [20] N.R. Potlapally, S. Ravi, A. Raghunathan, and N. K. Jha, “A study of the energy consumption characteristics of cryptographic algorithms and security protocols,” in *IEEE Trans. Mobile computing*, vol. 5, no. 2, pp. 128–143, 2006.
- [21] A. Castiglione, F. Palmieri, U. Fiore, A. Castiglione, and A. De Santis, “Modeling energy-efficient secure communications in multi-mode wireless mobile devices,” *Journal of Computer and System Sciences*, vol. 81, no. 8, pp. 1464–1478, 2015.
- [22] C. Thammarat, and C. Techapanupreeda, “Secure mutual authentication protocol based on wireless body area networks”, *Journal of Information Science and Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 29–37, 2021.
- [23] C. Thammarat, “Efficient and secure NFC authentication for mobile payment ensuring fair exchange protocol”, *Symmetry*, vol. 12, no. 10, pp. 1649, 2020.
- [24] C. Thammarat, and W. Kurutach, “A lightweight and secure NFC-base mobile payment protocol ensuring fair exchange based on a hybrid encryption algorithm with formal verification”, *International Journal of Communication Systems*, vol. 32, no. 12, pp. e3991, 2019.



การจำแนกระดับคุณภาพน้ำด้วยการเรียนรู้เชิงลึกผ่านแอปพลิเคชันระบบปฏิบัติการ

แอนดรอยด์

Classification of Water Quality Level using Deep Learning on Android Application

ณัฐวดี หงษ์บุญมี* และ ชีรพงศ์ อ่อนคำ

Nattavadee Hongboonmee and Thiraphong Oonkham*

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

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

Naresuan University

Received: May 15, 2022; Revised: December 12, 2022; Accepted: December 13, 2022; Published: December 30, 2022

ABSTRACT – Water is crucial for all lives, yet recently its quality is increasingly affected by waste and pollution. As water quality inspection is important for ecological and water resource management, this work therefore proposed a water quality inspection technique based on deep learning to automatically classify water quality on an Android application. The process started from collection of 480 images which were divided into four grades of water: A, B, C and D. The images were used for training a model for water quality classification, and three algorithms were compared: MobileNet 0.5 MobileNet 0.75, and MobileNet 1.0. Model assessment was done using accuracy, precision and recall. The model was developed into an application, which was then finally tested. The test found that (1) the MobileNet 1.0 was the most suitable model with 100.00% accuracy, precision and recall, and (2) application test showed that it had classification success rate of 82.50%, with good performance. Application was assessed by experts and the result was 4.33 on average, or highly suitable. The test showed that this approach and application could be used for water quality inspection from images with high efficiency and ease of use.

KEYWORDS: Water Quality, Image Classification, Deep Learning, Convolutional Neural-Network, Application

บทคัดย่อ -- น้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตและการยังชีพของสิ่งมีชีวิตทั้งหมด ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำได้รับผลกระทบจากของเสียและสารมลพิษเพิ่มมากขึ้น การตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นสิ่งสำคัญต่อการจัดการระบบนิเวศและทรัพยากรน้ำ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกระดับคุณภาพน้ำจากภาพแบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชันระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วย การรวบรวมชุดข้อมูลภาพจำนวนทั้งหมด 480 ภาพ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ คุณภาพน้ำเกรด A เกรด B เกรด C และเกรด D นำข้อมูลภาพไปฝึกสอนให้เครื่องคอมพิวเตอร์เรียนรู้และสร้างโมเดลจำแนกระดับคุณภาพน้ำแต่ละประเภททดลองเปรียบเทียบด้วยอัลกอริทึม 3 แบบ ได้แก่ MobileNet0.5 MobileNet 0.75 และ MobileNet 1.0 การประเมิน

*Corresponding Author: nattavadeeho@nu.ac.th

ประสิทธิภาพโมเดลใช้ค่าความถูกต้อง ความแม่นยำ และความละเอียด จากนั้นนำโมเดลไปพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันและขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน ผลการทดลองพบว่า(1) โมเดลMobileNet 1.0 มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยการวัดประสิทธิภาพด้วยค่าความถูกต้องได้100.00%ค่าความแม่นยำ 100.00% ค่าความละเอียด 100.00%และ (2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชันพบว่า อัตราความสำเร็จในการจำแนกภาพเท่ากับ82.50%มีประสิทธิภาพความแม่นยำอยู่ในระดับดี ส่วนผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันจากผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ย 4.33 อยู่ในระดับมีความเหมาะสมมาก ผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวิธีการและแอปพลิเคชันที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นเครื่องมือช่วยตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากภาพถ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งาน

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ, การจำแนกภาพ, การเรียนรู้เชิงลึก, โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน, แอปพลิเคชัน

1. บทนำ

น้ำเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งในการอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวัน การทำเกษตรกรรมและกิจกรรมอื่นๆ อีกมากมาย ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำได้รับผลกระทบจากของเสียและสารมลพิษที่เป็นอันตรายที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมไม่เหมาะสำหรับการใช้งานทุกประเภทด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพน้ำจึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็น[1] เนื่องจากถ้าไม่มีสารปนเปื้อนหรือไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรงไม่ว่าจะเป็นคุณภาพน้ำประปา น้ำดื่ม น้ำที่นำมาประกอบอาหาร น้ำที่ใช้ในกิจกรรมด้านการเกษตร เป็นต้น โดยเฉพาะการใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติอย่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินโดยปกติแล้วถ้าต้องการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำด้วยวิธีการมาตรฐานจำเป็นต้องนำตัวอย่างน้ำเข้าตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ [2] ซึ่งไม่สะดวกต่อประชาชนทั่วไปในการนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและมีระยะเวลาดำเนินการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟนรวมถึงเทคนิคความเป็นอัจฉริยะ เช่น การเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมาแก้ไขปัญหาอย่างแพร่หลาย ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่นำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพิ่มความสะดวกรวดเร็ว โดยการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำและใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกลักษณะคุณภาพน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลจำแนกระดับคุณภาพน้ำโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้

เชิงลึกและพัฒนาแอปพลิเคชันจำแนกระดับคุณภาพน้ำบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์แอปพลิเคชันที่นำเสนอจะประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกคอนโวลูชันสำหรับสร้างโมเดลวิเคราะห์จำแนกภาพ ซึ่งจะช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำให้มีความแม่นยำและสามารถใช้งานได้บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่ออำนวยความสะดวก ลดขั้นตอนและระยะเวลาต่อผู้ใช้งานในการเข้าถึงเทคโนโลยีการวิเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพน้ำ สามารถใช้เป็นแนวทางช่วยแก้ปัญหาการจัดการระบบนิเวศและทรัพยากรน้ำให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ [3] หมายถึง ความเหมาะสมของน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมเป็นสำคัญ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ลักษณะของธรณีวิทยา พืชพรรณธรรมชาติ รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ คุณภาพน้ำประกอบด้วย (1) คุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของสารแขวนลอย สี กลิ่น รส ความขุ่น อุณหภูมิ (2) คุณภาพน้ำทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรดด่าง ออกซิเจน คลอไรด์ และ (3) คุณภาพน้ำทางชีวภาพ ได้แก่ น้ำมีสิ่งมีชีวิตเจือปน เชื้อโรค แบคทีเรีย เป็นต้น ซึ่งในการศึกษานี้เน้นศึกษาคุณภาพน้ำจากลักษณะทางกายภาพ โดยแบ่งระดับคุณภาพน้ำออกเป็น 4 ระดับ ตามมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ [4] ซึ่งแบ่งเกณฑ์คุณภาพน้ำเป็น 4 เกณฑ์ ได้แก่ ดีมาก ดี ดีเสื่อมโทรม และเสื่อมโทรมมาก รายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. เกณฑ์การแบ่งคุณภาพน้ำตามมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ [4]

ประเภทของคุณภาพน้ำ	ลักษณะ
ระดับดีมาก หรือ คุณภาพน้ำเกรด A	น้ำใสและสามารถดื่มได้
ระดับดี หรือ คุณภาพน้ำเกรด B	น้ำไม่ค่อยขุ่นมาก เป็นน้ำที่ไม่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด เหมาะสำหรับการทำเกษตรกรรม และนิยมนำไปปรับปรุงคุณภาพให้เหมาะสมเพื่อใช้บริโภค เช่น ใช้สำหรับทำน้ำประปา
ระดับเสื่อมโทรม หรือ คุณภาพน้ำเกรด C	มีความขุ่นมากและไม่สามารถใช้อุปโภคได้ต้องนำมาบำบัดก่อนนำไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค
ระดับเสื่อมโทรมมาก หรือ คุณภาพน้ำเกรด D	น้ำเสีย น้ำหรือของเหลวที่มีสิ่งเจือปนปริมาณสูง เป็นมลพิษทางทัศนียภาพและก่อให้เกิดผลเสียหลายต่อสิ่งแวดล้อม

2.2 การเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [5] คือวิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติที่จำลองมาจากโครงข่ายประสาทของมนุษย์โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) ที่เป็นโหนดมาซ้อนกันหลายชั้น (Layer) ทำการเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่างจากนั้นนำข้อมูลที่ได้อาหารูปแบบ (Pattern) หรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล (Data Classification) และใช้การประมวลผลแบบขนาน ทำให้สามารถประมวลผลได้ครั้งละจำนวนมาก ช่วยให้การเรียนรู้ของเครื่องสามารถให้ผลลัพธ์ในการตัดสินใจและคาดการณ์ได้ดียิ่งขึ้น

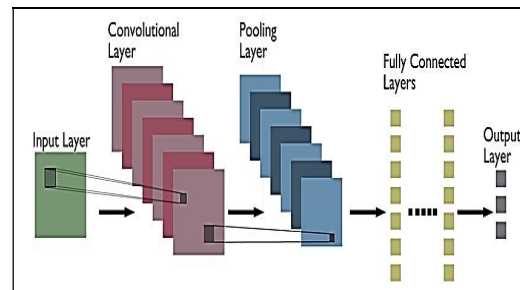
2.3 โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network: CNN) [6] เป็นเทคนิคหนึ่งของการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับรูปภาพ โครงสร้างของ CNN จะประกอบด้วยลำดับชั้นเบื้องต้น 3 ชั้น [7] ดังนี้

(1) ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer) เป็นเลเยอร์หลักของ CNN ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า และดำเนินการสกัดคุณลักษณะที่สำคัญออกมา (Feature Map)

(2) ชั้นพูลลิง (Pooling Layer) เป็นชั้นที่คั่นกลางระหว่างชั้นคอนโวลูชัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดขนาดของฟังก์ชันคุณลักษณะ (Feature Map) ที่ได้จากชั้นคอนโวลูชัน จะทำการลดจำนวนของพารามิเตอร์ที่มีมากเกินไปและลดระยะเวลาในการ Train ซึ่งมีหลายแบบด้วยกันเช่น Max Pooling, MinPooling, Average Pooling เป็นต้น

(3) ชั้นฟูลลี่คอนเนค (Fully Connected Layer) เป็นเลเยอร์สุดท้ายของการทำ CNN ส่วนนี้จะทำหน้าที่นำเอาคุณลักษณะสำคัญไปสร้างเป็น Neural Network สำหรับการเรียนรู้จัดจำรูปแบบและการทำนายประเภทเพื่อทำการจัดหมวดหมู่ (Classification) โดยกระบวนการเรียนรู้จะถูกทำซ้ำเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์หลายๆ รอบ เพื่อให้ค่า Error จากการทำนายลดลงในแต่ละรอบ โครงสร้างสถาปัตยกรรมของ CNN แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

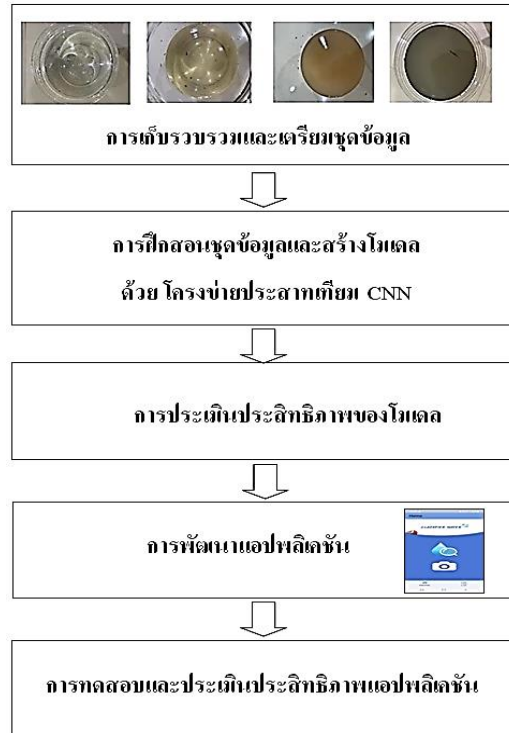
ปัจจุบันเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลายเช่น งานวิจัยของ Pu และคณะ [8] นำเสนอวิธีการเรียนรู้เชิงลึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) เพื่อจำแนกคุณภาพน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ผลการวิจัยพบว่า โมเดล CNN มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (SVM) ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ คือ ภาพจากดาวเทียมเป็นภาพระยะไกล ทำให้มีปัญหาเรื่องการสะท้อนแสงจากผิวน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของโมเดลได้ งานวิจัยของ Mahmood และคณะ [9] ศึกษาการวิเคราะห์ภาพแนว

ปะการังโดยใช้ภาพจากการสำรวจโดยยานพาหนะใต้น้ำ (Autonomous Underwater Vehicles: AUV) ขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกผลลัพธ์ที่ได้พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีในแง่ของความแม่นยำในการคาดการณ์ Barzegar และคณะ[10] ศึกษาการทำนายตัวแปรคุณภาพน้ำโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกแบบผสม CNN-LSTM ผลการทดลองพบว่าโมเดล CNN-LSTM แบบผสมมีประสิทธิภาพเหนือกว่าโมเดลSupport Vector Regression (SVR) และ Decision Tree (DT)นอกจากนี้งานวิจัยที่นำการเรียนรู้เชิงลึกมาช่วยงานด้านอื่นๆเช่นงานด้านการแพทย์ซึ่งเป็นการทำนายโดยงานวิจัยของ Orlandoและคณะ [11] นำเสนอวิธีการตรวจหารอยแค่งที่ตา ซึ่งอาจจะบ่งบอกถึงโรคเบาหวานโดยอาศัยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าโมเดลที่นำเสนอมีค่าประสิทธิภาพ 93.47%งานวิจัยของ Krishnan และคณะ [12]นำเสนอการจำแนกภาพด้วยการตรวจคัดกรองและจำแนกภาพเซลล์เชื้อมาลาเรียด้วยการเรียนรู้เชิงลึกซึ่งผลลัพธ์สามารถจำแนกภาพได้ถูกต้อง 98.60%

จากที่กล่าวมาพบว่าการเรียนรู้เชิงลึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) สามารถนำมาช่วยจำแนกภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการประยุกต์การเรียนรู้เชิงลึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน มาช่วยในการจำแนกภาพคุณภาพน้ำและนำโมเดลมาพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน

3. วิธีการดำเนินการ

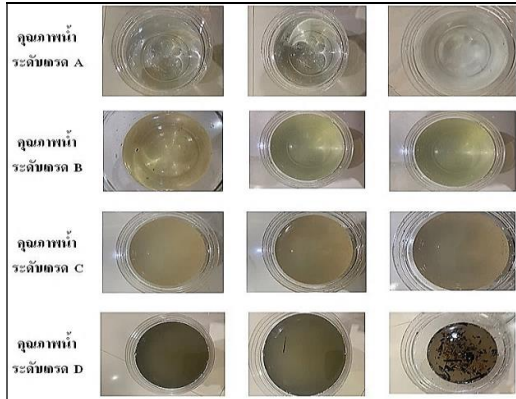
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกคุณภาพน้ำจากภาพถ่าย การทดสอบเน้นไปที่การจำแนกคุณภาพน้ำโดยแบ่งระดับคุณภาพเป็น 4 ระดับ ได้แก่ คุณภาพน้ำเกรด A คุณภาพน้ำเกรด B คุณภาพน้ำเกรด C และคุณภาพน้ำเกรด D จึงได้ออกแบบการวิจัยดำเนินงานวิจัยไว้ดังนี้ (1) การเก็บรวบรวมและเตรียมชุดข้อมูล (2) การฝึกสอนชุดข้อมูลและสร้างโมเดล (3) การประเมินประสิทธิภาพของโมเดล (4) การพัฒนาแอปพลิเคชัน และ (5) การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน



รูปที่ 2. แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมและเตรียมชุดข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างน้ำ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และนำตัวอย่างน้ำจากพื้นที่ต่างๆ มาทำการคัดแยกใส่แก้วน้ำและทำการถ่ายภาพน้ำเป็นด้านตรงเพื่อให้สามารถเห็นรายละเอียดของลักษณะน้ำได้อย่างชัดเจน ดำเนินการถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายรูปบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนจากนั้นดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นและนำภาพน้ำที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้วไปแบ่งระดับคุณภาพน้ำ ดังนี้ (1) คุณภาพน้ำเกรด A (2) คุณภาพน้ำเกรด B (3) คุณภาพน้ำเกรด C และ (4) คุณภาพน้ำเกรด D จำนวนทั้งหมด 480 ภาพดังตัวอย่างรูปที่ 3 ซึ่งแสดงภาพน้ำในแต่ละระดับคุณภาพ จากนั้นนำมาแบ่งด้วยวิธีการสุ่มเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลฝึกสอน (Train Data Set) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data Set) และชุดข้อมูลทดสอบแอปพลิเคชัน (Validate Data Set) จำนวน 320, 80 และ 80 ภาพ ตามลำดับ รายละเอียดในตารางที่ 2



รูปที่ 3.ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง

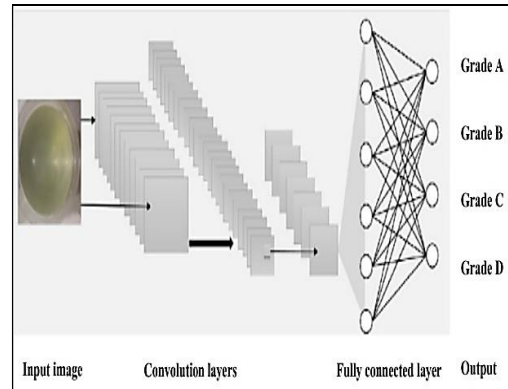
ตารางที่ 2. จำนวนชุดข้อมูลภาพน้ำในแต่ละประเภท

ประเภทของ คุณภาพน้ำ	จำนวนรูปภาพ		
	Train	Test	Validate
คุณภาพน้ำ เกรด A	80	20	20
คุณภาพน้ำ เกรด B	80	20	20
คุณภาพน้ำ เกรด C	80	20	20
คุณภาพน้ำ เกรด D	80	20	20
รวม	320	80	80

3.2 การฝึกสอนชุดข้อมูลและสร้างโมเดล

ขั้นตอนการฝึกสอนและสร้างโมเดลจำแนกระดับคุณภาพน้ำ ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการฝึกสอนชุดข้อมูลและสร้างโมเดล ได้แก่ ภาษา Python และ TensorFlow ซึ่งเป็นไลบรารีของกูเกิลที่รองรับการทำงาน โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) ข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายการเรียนรู้ได้ใช้ตามขนาดภาพ 224x224 พิกเซล ชุดข้อมูลรูปภาพที่นำมาใช้ในการสร้างโมเดลถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้สำหรับการฝึกสอน (Training) ส่วนที่สองสำหรับการทดสอบ (Testing) เพื่อวัดความแม่นยำในการเรียนรู้จากนั้นนำชุดข้อมูลเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้และจำแนกในโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน เพื่อสกัดและแยกคุณลักษณะ ตลอดจนทำการรู้จำและจำแนกประเภทภาพอย่างอัตโนมัติ โดยคุณลักษณะที่โครงข่ายเรียนรู้จะถูกแบ่งไปตามกลุ่มภาพระดับคุณภาพน้ำที่กำหนด (Class) ดังตัวอย่างขั้นตอนโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันรูปที่ 4 ในการทดลองใช้รอบในการฝึกสอนทั้งหมด 500 รอบ เมื่อทำการฝึกสอนจนครบแล้ว

จะได้ไฟล์โมเดลจำนวน 2 ไฟล์ ได้แก่ retrained_graph.pb และ retrained_labels.txt ซึ่งเป็นไฟล์ที่จะนำไปใช้ในการสร้างแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนต่อไป รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการฝึกสอนและสร้างโมเดลตามจำนวนรอบด้วย TensorFlow



รูปที่ 4. แสดงขั้นตอนโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

```

NFO:tensorflow:2021-09-27 14:31:21.060145: Step 490:
NFO:tensorflow:2021-09-27 14:31:21.144153: Step 490:
NFO:tensorflow:2021-09-27 14:31:22.076585: Step 499:
NFO:tensorflow:2021-09-27 14:31:22.076585: Step 499:
NFO:tensorflow:2021-09-27 14:31:22.140585: Step 499:
NFO:tensorflow:Final test accuracy = 100.0% (N=54)

```

รูปที่ 5. แสดงการฝึกสอนและสร้างโมเดลตามจำนวนรอบ

3.3 การประเมินประสิทธิภาพของโมเดล

การประเมินประสิทธิภาพของโมเดลใช้วิธีการสุ่มเลือกข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Set) และข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing Set) การวัดประสิทธิภาพพิจารณาจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) ในการจำแนกกลุ่มข้อมูล ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากวิธีการทดสอบโมเดลเพื่อหาค่าพยากรณ์ความถูกต้องของข้อมูลต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยใช้สมการดังนี้ [13]

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

$$\text{Precision} = \left(\frac{TP}{TP+FP} \right) \times 100 \quad (2)$$

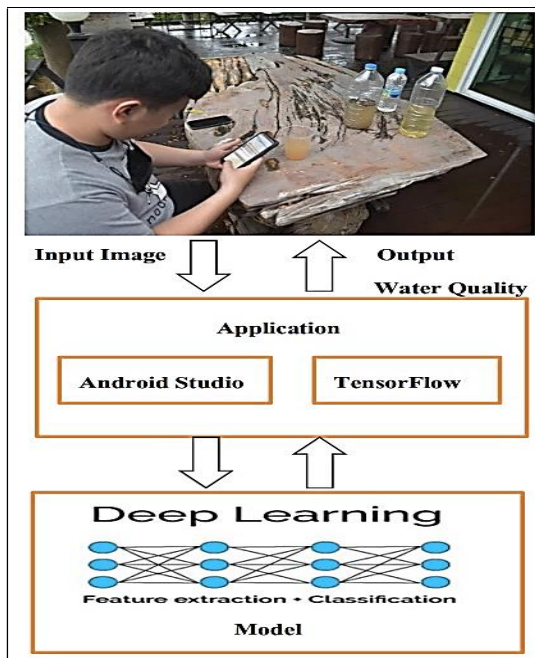
$$\text{Recall} = \left(\frac{TP}{TP+FN} \right) \times 100 \quad (3)$$

โดย TP คือ สิ่งที่ยากที่พยากรณ์ถูกต้องและความเป็นจริงถูกต้อง TN คือ สิ่งที่ยากที่พยากรณ์ไม่ถูกต้องและความเป็นจริงไม่ถูกต้อง FP คือ สิ่งที่ยากที่พยากรณ์ถูกต้อง แต่ความเป็นจริงไม่ถูกต้อง FN คือ สิ่งที่ยากที่พยากรณ์ไม่ถูกต้อง แต่ความเป็นจริงถูกต้อง

3.4 การพัฒนาแอปพลิเคชัน

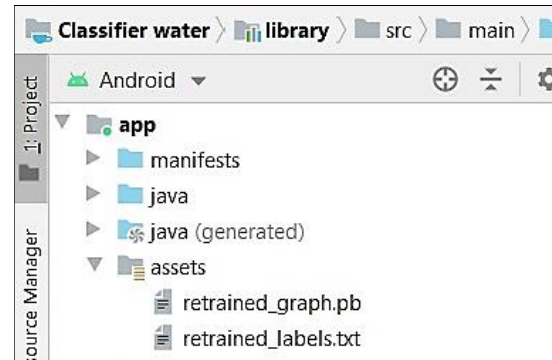
การพัฒนาแอปพลิเคชันเป็นขั้นตอนของการนำโมเดลจำแนกภาพที่ได้ไปพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน โดยดำเนินการออกแบบขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน ดังรายละเอียดในรูปที่ 6

เครื่องมือในการพัฒนาระบบใช้โปรแกรม Android Studio และภาษา JAVA การทำงานของระบบจะสามารถถ่ายภาพน้ำด้วยกล้องสมาร์ตโฟน (Input Image) จากนั้นแอปพลิเคชันทำการประมวลผลและจำแนกภาพด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้ฝึกสอนไว้เพื่อตรวจสอบรูปภาพ หลังจากนั้นระบบจะแสดงผลลัพธ์ด้วยการวิเคราะห์ระดับคุณภาพน้ำที่ตรวจพบพร้อมแสดงค่าความมั่นใจที่มากที่สุด (Confidence Score) ที่หน้าจอแอปพลิเคชัน (Output)



รูปที่ 6. แสดงขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนการนำโมเดลเข้าใช้งานบนแอปพลิเคชันในโปรแกรม Android Studio นำโมเดลที่ได้จากการเทรนประกอบไปด้วยไฟล์ retrained_graph.pb และ retrained_labels.txt ไปไว้ในโฟลเดอร์ assets ที่สร้างขึ้นในโปรแกรม Android Studio ดังรูป 7



รูปที่ 7. แสดงการนำไฟล์โมเดลเข้าใช้งานในโปรแกรม Android Studio

การเรียกใช้งานไฟล์โมเดลในโปรแกรม Android Studio โดยเรียกใช้ในหน้า ClassifierActivity.java เรียกใช้โดยการ Set Path ไปยังไฟล์โมเดลที่อยู่ในโฟลเดอร์ assets ที่สร้างขึ้นในโปรแกรม Android Studio ดังรูป 8

```

38
39 public class ClassifierActivity extends MainActivity implements OnImageAvailableListener
40 {
41     private static final Logger LOGGER = new Logger();
42     protected static final boolean SAVE_PREVIEW_BITMAP = false;
43     private static final int INPUT_SIZE = 224;
44     private static final int IMAGE_MEAN = 128;
45     private static final float IMAGE_STD = 128.0f;
46     private static final String INPUT_NAME = "input";
47     private static final String OUTPUT_NAME = "final_result";
48     private static final String MODEL_FILE = "file:///android_asset/retrained_graph.pb";
49     private static final String LABEL_FILE = "file:///android_asset/retrained_labels.txt";

```

รูปที่ 8. แสดงการพัฒนาแอปพลิเคชันตรวจสอบคุณภาพน้ำ

3.5 การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน

ขั้นตอนนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ (1) การทดสอบความถูกต้องของแอปพลิเคชันเป็นการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของแอปพลิเคชันในการจำแนกระดับคุณภาพน้ำจากภาพถ่ายจำนวนประเภทละ 20 ภาพทำการวัดจากค่าร้อยละความถูกต้องในการจำแนกภาพโดยใช้สมการดังนี้

$$Accuracy = \left(\frac{\text{No. of Correct Classify}}{\text{No. of Total Classify}} \right) \times 100 (4)$$

และ (2) การประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไปเป็นการวัดความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันของผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยี และผู้ใช้งานทั่วไป โดยใช้แบบสอบถามซึ่งแบ่งหัวข้อในการประเมินออกเป็น (1) ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน (2) ด้านความเหมาะสมด้านการออกแบบและ (3) ด้านประโยชน์ที่ได้รับจากแอปพลิเคชันเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าคุณภาพน้ำรูปแบบเดิม

4. ผลการทดลอง

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของผลการพัฒนาโมเดล ส่วนของผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน และ ส่วนของผลการทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชันแสดงผลดังนี้

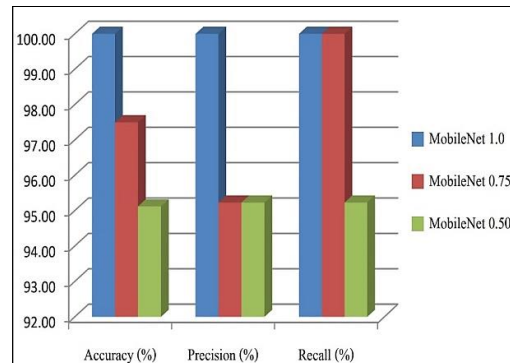
4.1 ผลการพัฒนาโมเดล

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกระดับคุณภาพน้ำจากภาพถ่ายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันจำนวน 3 อัลกอริทึม ได้แก่ MobileNet 0.5, MobileNet 0.75 และ MobileNet 1.0 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 9

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโมเดลจากการแบ่งข้อมูลสำหรับเรียนรู้และทดสอบโดยใช้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) เป็นเกณฑ์ ผลการทดลองพบว่าโมเดลของอัลกอริทึม MobileNet 1.0 ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับ 100.00% ค่าความแม่นยำเท่ากับ 100.00% และค่าความระลึกเท่ากับ 100.00% รองลงมา คือ MobileNet 0.75 และ MobileNet 0.50 ซึ่งได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 97.10% และ 94.10% ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โมเดล MobileNet 1.0 ซึ่งได้ค่าประสิทธิภาพสูงที่สุดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับจำแนกคุณภาพน้ำต่อไป

ตารางที่ 3. แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโมเดล

Model	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)
MobileNet 1.0	100.00	100.00	100.00
MobileNet 0.75	97.50	95.23	100.00
MobileNet 0.50	95.12	95.23	95.23



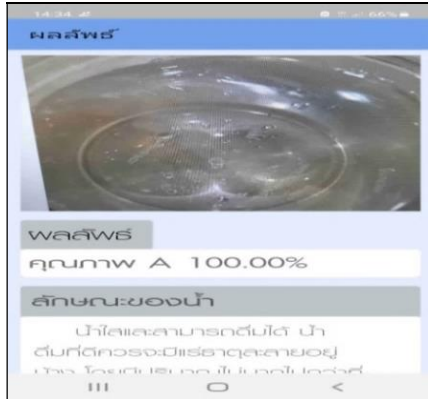
รูปที่ 9. การเปรียบเทียบข้อมูลในรูปแบบกราฟ

4.2 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน

จากการพัฒนาแอปพลิเคชันจำแนกระดับคุณภาพน้ำจากภาพถ่ายบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ แสดงผลการพัฒนาแอปพลิเคชันได้ดังนี้ เมื่อเปิดแอปพลิเคชันเข้ามาหน้าแรกเรียกว่า หน้าจอหลักแอปพลิเคชันดังแสดงในรูปที่ 10 โดยหน้านี้จะแสดง เมนูกล้องถ่ายรูปซึ่งผู้ใช้สามารถคลิกที่เมนูกล้องถ่ายรูปเพื่อถ่ายภาพจากกล้องของสมาร์ทโฟน (Camera) เมื่อได้ภาพที่ต้องการแล้วให้กดปุ่มถ่ายภาพ จากนั้นแอปพลิเคชันจะเรียกใช้การประมวลผลจากโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ได้ฝึกสอนไว้เพื่อวิเคราะห์ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 11-14



รูปที่ 10. หน้าจอหลักแอปพลิเคชัน

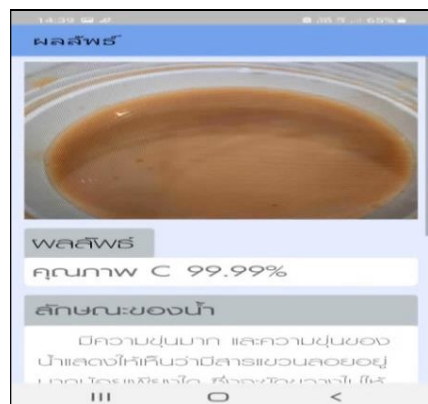


รูปที่ 11. ผลการทดสอบคุณภาพน้ำเกรด A

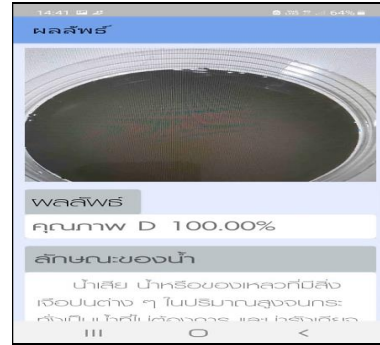
รูปที่ 11-14 แสดงตัวอย่างหน้าจอผลลัพธ์การวิเคราะห์ภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยระดับคุณภาพน้ำพร้อมแสดงค่าความมั่นใจ (Confidence Score) และแสดงข้อมูลรายละเอียดลักษณะน้ำแต่ละประเภท



รูปที่ 12. ผลการทดสอบคุณภาพน้ำเกรด B



รูปที่ 13. ผลการทดสอบคุณภาพน้ำเกรด C



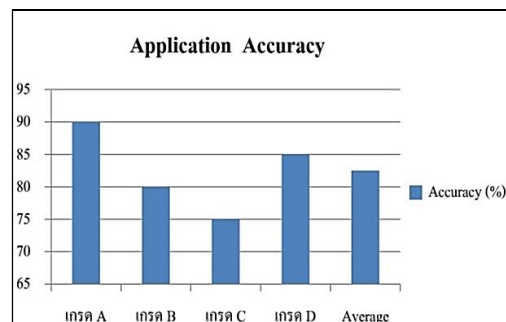
รูปที่ 14. ผลการทดสอบคุณภาพน้ำเกรด D

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน

ภายหลังการพัฒนาแอปพลิเคชัน ได้มีการทดลองใช้งานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกภาพของแอปพลิเคชัน โดยมีข้อมูลสำหรับการทดสอบคุณภาพน้ำประเภทละ 20 ภาพรวมข้อมูลทั้งหมดจำนวน 80 ภาพโดยข้อมูลจะถูกทดสอบทีละตัว ข้อกำหนดของการทดสอบ คือการถ่ายภาพต้องนำน้ำใส่แก้วและถ่ายจากด้านบนของแก้วน้ำ ดังตัวอย่างรูปที่ 11-14 โทรศัพท์รุ่นที่ใช้ทดสอบ คือ Samsung Galaxy A51 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 10 การถ่ายภาพตั้งแบบอัตโนมัติ (Auto Mode) การทดสอบแอปพลิเคชันใช้ตัวชี้วัด คือ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) เพื่อดูความสามารถในการแยกกลุ่ม

ตารางที่ 4. แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน

คุณภาพน้ำ	จำนวนถูกต้อง	จำนวนผิดพลาด	Accuracy (%)
เกรด A	18	2	90.00
เกรด B	16	4	80.00
เกรด C	15	5	75.00
เกรด D	17	2	85.00
ค่าความถูกต้องเฉลี่ย			82.50



รูปที่ 15. ผลลัพธ์การจำแนกคุณภาพน้ำในแต่ละประเภท

ผลการทดสอบประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน ดังปรากฏในตารางที่ 4 และรูปที่ 15 พบว่าค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการจำแนกระดับคุณภาพน้ำทั้ง 4 ประเภทเท่ากับ 82.50% ซึ่งมีประสิทธิภาพความแม่นยำอยู่ในระดับดี ภาพที่มีอัตราการจัดแนกสูงที่สุด 90.00% คือ ภาพน้ำเกรด A ข้อสังเกตจากการทดสอบ พบว่าภาพน้ำเกรด A มีลักษณะแตกต่างจากภาพน้ำประเภทอื่นๆ ชัดเจนจึงทำให้ผลการทำนายมีความคลาดเคลื่อนน้อย และภาพที่มีอัตราการจัดแนกต่ำที่สุด 75.00% คือ ภาพน้ำเกรด C เนื่องจากภาพน้ำเกรด C มีลักษณะของสีความขุ่น สารแขวนลอยคล้ายกับลักษณะของภาพน้ำเกรด B ทำให้มีบางรูปภาพของภาพน้ำเกรด C ถูกจำแนกเป็นภาพน้ำเกรด B ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจำแนกต่ำกว่าภาพประเภทอื่น

สำหรับปัญหาที่พบในการทดลองครั้งนี้ คือ ถ้าสีของน้ำมีสีออกส้มมากเกินไปการทำนายที่ได้จะมีข้อผิดพลาดสูง เพราะตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการเรียนรู้มีสีส้มมีน้อย ซึ่งถ้าจะให้การทำนายมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น มีข้อเสนอแนะ คือ ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพสำหรับการเรียนรู้ให้มากขึ้น

ตารางที่ 5. แสดงผลการประเมินความพึงพอใจ

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ		ผู้ใช้ทั่วไป	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
1.ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน	4.00	0.00	4.60	0.49
2.ด้านความเหมาะสมด้านการออกแบบ	4.33	0.47	4.40	0.66
3.ด้านประโยชน์ที่ได้รับจากแอปพลิเคชันเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำรูปแบบเดิม	4.67	0.47	4.70	0.46
เฉลี่ย	4.33	0.31	4.57	0.54

ในงานวิจัยได้มีการประเมินความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชัน ซึ่งแสดงผลการประเมินดังตารางที่ 5 พบว่าผลประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ 3 คน และผู้ใช้งานทั่วไปจำนวน 10 คน นั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันโดยผลประเมินความพึงพอใจทั้ง 3 ด้านมีดังนี้คือ (1) ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั่วไป

มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากและมากที่สุด (2) ด้านความเหมาะสมด้านการออกแบบ โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั่วไปมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (3) ด้านประโยชน์ที่ได้รับจากแอปพลิเคชันเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำรูปแบบเดิม โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั่วไปมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองจำแนกระดับคุณภาพน้ำจากภาพถ่ายโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโมเดลและพัฒนาแอปพลิเคชันจำแนกระดับคุณภาพน้ำที่มีประสิทธิภาพการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การพัฒนาโมเดลจำแนกระดับคุณภาพน้ำและการพัฒนาแอปพลิเคชันจำแนกระดับคุณภาพน้ำทั้ง 2 การทดลองให้ผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกันคือ โมเดลจากโครงข่ายการเรียนรู้ CNN ให้ผลลัพธ์ที่ดี สามารถวิเคราะห์จำแนกภาพและได้โมเดลที่มีความแม่นยำสูง

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 3 และรูปที่ 9) จะพบว่าโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน อัลกอริทึม MobileNet 1.0 ให้ผลลัพธ์การจำแนกภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าความถูกต้อง 100.00% ค่าความแม่นยำ 100.00% และค่าความระลึก 100.00% มีความสอดคล้องกับงานวิจัย Sinhal และ El-Sharkawy [14] และงานวิจัย Arfan และคณะ [15] ซึ่งใช้เทคนิคจากโมเดล MobileNet เพื่อวิเคราะห์จำแนกภาพและได้โมเดลที่มีความแม่นยำสูงแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีความเหมาะสมจึงนำมาโมเดลการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นไปสร้างเป็นแอปพลิเคชันเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

ในส่วนของการประสิทธิภาพการจำแนกภาพของแอปพลิเคชัน ดัง (ตารางที่ 4 และรูปที่ 15) พบว่า ค่าเฉลี่ยความถูกต้องในการจำแนกระดับคุณภาพน้ำทั้ง 4 ประเภทเท่ากับ 82.50% ซึ่งมีประสิทธิภาพความแม่นยำอยู่ในระดับดี ส่วนใหญ่ที่ทำนายผิดพลาดเนื่องจากภาพที่นำมาทดสอบบางภาพมีลักษณะเด่นใกล้เคียงกัน เช่น การจำแนกภาพน้ำเกรด C แต่แอปพลิเคชันจำแนกเป็นภาพน้ำเกรด B เนื่องจากมาจาก ลักษณะของสีน้ำและความขุ่นคล้ายกัน ซึ่งจากประสิทธิภาพการจำแนกจะพบว่าภาพต้นฉบับที่ใช้ในการเรียนรู้มีความสำคัญมาก ทั้งลักษณะสี ความขุ่นและลักษณะเด่นต่างๆ สอดคล้องกับงานวิจัย Naseer และ

คณะ [16] พบข้อสังเกตเดียวกันว่าระบบจะทำการจำแนกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ถ้าสามารถจัดเก็บลักษณะพิเศษเฉพาะของภาพที่ใช้ในการเรียนรู้ได้มาก

ส่วนผลลัพธ์ความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันพบว่าโดยรวมผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ย 4.33 อยู่ในระดับมีความเหมาะสมมาก และผลประเมินความพึงพอใจแอปพลิเคชันจากผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 4.57 อยู่ในระดับมากที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แอปพลิเคชันที่นำเสนอเป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยแก้ปัญหาความยุ่งยากซับซ้อนของการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาการจัดการคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

สำหรับการวิจัยในอนาคตถ้าได้มีการรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้โมเดลการเรียนรู้สามารถดึงคุณลักษณะเด่นของภาพให้เกิดความแตกต่างระหว่างข้อมูลภาพแต่ละประเภทให้เพิ่มมากขึ้น จะทำให้สามารถพัฒนาโมเดลการเรียนรู้ที่ฉลาดในการจำแนกภาพอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Tangkhananurak and K. Tangkhananurak, *Principles of chemical water quality analysis*. Bangkok: Kasetsart University Press, 2007.
- [2] Department of Health, "Water quality criteria," *Department of Health Laboratory Center*, 2021. [Online]. Available: <https://rldc.anamai.moph.go.th/th/water-quality-standards> [Accessed: Aug. 9, 2021].
- [3] Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation, "Water quality of the basin," *Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation*, 2021. [Online]. Available: <https://www.dnp.go.th/Research/watershade/quality.html> [Accessed: Sep. 19, 2021].
- [4] Pollution Control Department, "Water quality and water pollution," *Pollution Control Department*, 2021. [Online]. Available: <https://www.pcd.go.th/faqs/waterqualityandwaterpollution> [Accessed: Sep. 12, 2021].
- [5] K. Sraubon, *LearnAI:Deep Learning with Python*. Bangkok: Intermedia Press, 2022.
- [6] N. Phromrit and S. Wichanya, *Fundamental of Deep Learning in Practice*. Bangkok: IDC Premier, 2021.
- [7] G. Lin, and W. Shen, "Research on Convolutional Neural Network based on Improved Relu - piecewise Activation Function," *Procedia Computer Science*, vol. 131, no.1, pp. 977-984, 2018.
- [8] F. Pu, C. Ding, Z. Chao, Y. Yu, and X. Xu, "Water-Quality Classification of Inland Lakes Using Landsat8 Images by Convolutional Neural Networks," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 14, pp. 1674-1688, 2019.
- [9] A. Mahmood, M. Bennamoun, S. An, F. Sohel, F. Boussaid, R. Hovey, G. Kendrick, and R. Fisher, "Automatic annotation of coral reefs using deep learning," In *Proceedings of OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, pp. 1-5, 2016.
- [10] R. Barzegar, M. Aalami and J. Adamowski, "Short-term water quality variable prediction using hybrid CNN-LSTM deep learning model," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 34, no. 1, pp. 415-433, 2020.
- [11] J. Orlando, E. Prokofyeva, M. Fresno and M. Blaschko, "An ensemble deep learning based approach for red lesion detection in fundus images," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 2018, no. 153, pp. 115-127, 2018.
- [12] S. Krishnan, S. Antani and S. Jaeger, "Visualizing Deep Learning Activations for Improved Malaria Cell Classification," In *Proceedings of First workshop Medical Informatics and Healthcare, Machine Learning Research*, pp. 1-8, 2017.
- [13] H. Wu and Z. Zhou, "Using convolution neural network for defective image classification of industrial components," *Mobile Information Systems*, vol. 2021, no. 1, pp. 1-8, 2021.
- [14] D. Sinha and M. El-Sharkawy, "Thin MobileNet: An Enhanced MobileNet Architecture," In *Proceedings of*

- IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON2019), pp. 0280-0285, 2019.
- [15] T. Arfan, M. Hayaty, and A. Hadinegoro, "Classification of Brain Tumours Types based on MRI Images using Mobilenet," In Proceedings of 2nd International Conference on Innovation and Creative Information Technology (ICITech2021), pp. 69-73, 2021.
- [16] S. Naseer, MR Ali, A. Muneer, and A. Fati, "iAmideV-Deep: Valine Amidation Site Prediction in Proteins Using Deep Learning and Pseudo Amino Acid Composition," *Symmetry*, vol. 2021, no. 13, pp. 1-19, 2021.



คู่สีสำหรับโทนไร้สีที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ

Color Combination Pairs of Achromatic Color for the Elderly

ฐิติพร เลิศรัตนเดชกุล*, คณาภรณ์ รักไพฑูรย์ และ เกษม ทิพย์ธาราจันทร์

Thitiporn Lertrusdachakul*, Kanakarn Ruxpaitoon, and Kasem Thiptarajan

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology

Received: April 18, 2022; Revised: November 13, 2022; Accepted: November 23, 2022; Published: December 30, 2022

ABSTRACT – Colors help in communicating information and emotions. But effects of aging on vision make difficulty in color discrimination and due to a lot of applications of achromatic color in everyday life, this research therefore focuses on the study of color pairs specific to achromatic color that are suitable for aging vision. A test set of 180 emotionally associated colors from the Color Image Scale were compared to 9 levels of gray in visual discrimination test of the elderly. The test was performed for both gray as the object color and the background color. The results of variation in difficulty of visual discrimination were then analyzed for each color. Finally, we summarize the color groups that can be clearly seen for the different types of grayscale color pairs: 1.black 2.white 3.black and white 4.shadow 5.highlight 6.shadow and highlight 7.all grayscale tone 8.all grayscale tone and black and white 9.all grayscale tone and shadow and highlight. The example of recommended color for the grayscale type 6 (shadow and highlight) is light blue with RGB value of 26,169,206. For the example of recommended color in the case of using with the grayscale type 8 (all grayscale tone and black and white) is orange with RGB value of 227, 109, 74. The summary of the recommended color groups for these nine grayscale color pairs will help to design the color related to achromatic color more appropriately for the elderly.

KEYWORDS: Color combination pair, Achromatic color, Elderly, Color vision, Emotional color

บทคัดย่อ -- สีช่วยในการสื่อสารข้อมูลและอารมณ์ความรู้สึก แต่ผลกระทบจากความสูงวัยที่มีต่อการมองเห็นทำให้แยกแยะสีได้ยาก และเนื่องด้วยโทนไร้สี (Achromatic Color) มีการประยุกต์ใช้งานในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาคู่สีเฉพาะสำหรับโทนไร้สี ที่เหมาะสมต่อการมองเห็นของผู้สูงอายุ โดยใช้ชุดสีทดสอบที่มีความเชื่อมโยงกับอารมณ์ความรู้สึกจำนวน 180 สี จาก Color Image Scale และทำการทดสอบการมองเห็นแยกแยะโดยผู้สูงอายุเมื่อเทียบกับสีระดับเทาจำนวน 9 ระดับ โดยแบ่งสีระดับเทาเป็นสี่วัตถุ และสีพื้นหลัง แล้วนำผลมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการมองเห็นแยกแยะยากในแต่ละสี สรุปเป็นข้อมูลกลุ่มสีที่สามารถมองเห็นชัดเจนสำหรับประเภทสีระดับเทาแบบต่าง ๆ ได้แก่ 1.สีดำ 2.สีขาว 3.สีดำและสีขาว 4.สีระดับเทาช่วงมืด 5.สีระดับเทาช่วงสว่าง 6.สีระดับเทาช่วงมืดและช่วงสว่าง 7.ทุกช่วงสีระดับเทา 8.ทุกช่วงสีระดับเทาและสีดำและสีขาว 9.ทุกช่วงสีระดับเทาและช่วงมืดและช่วงสว่าง โดยตัวอย่างสีที่แนะนำสำหรับประเภทสีที่ 6.สีระดับเทาช่วงมืดและช่วงสว่างได้แก่สีฟ้าด้วยค่า R,G,B เท่ากับ 26,169,206 สำหรับตัวอย่างสีที่แนะนำหากมีการนำไปใช้งานกับประเภทสีที่ 8.ทุกช่วงสีระดับเทาและสีดำและสีขาวได้แก่สีส้มด้วยค่า R,G,B เท่ากับ

*Corresponding Author: nattavadeeho@nu.ac.th

227, 109, 74 ซึ่งผลสรุปข้อมูลกลุ่มสีที่แนะนำสำหรับประเภทคู่สีระดับเทาทั้ง 9 ประเภทนี้ จะช่วยให้การออกแบบสีที่มีความเกี่ยวข้องกับ Achromatic Color สำหรับผู้สูงอายุมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: คู่สี สีโทน ไร้สี ผู้สูงอายุ การมองเห็นสี สีสื่ออารมณ์

1. บทนำ

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์พบเจอกับสีต่าง ๆ มากมาย โดยสีขาว สีดำ และสีระดับเทา (Grayscale) หรือที่เรียกว่า Achromatic Color ถูกใช้ในหลากหลายสถานการณ์ เช่น การตกแต่งบ้าน/โต๊ะอาหาร/โต๊ะรับแขก ชุดเสื้อผ้า อาหารและบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นโทนสีที่เรียบง่าย สะอาดตา มีความเป็นกลาง ให้ความรู้สึกสงบ พักผ่อน เหมาะแก่การเป็นสีพื้นเพื่อการตกแต่งอย่างมีรสนิยม ซึ่งสีขาวและสีดำยังช่วยเพิ่มหรือลดขนาดพื้นที่ในทางความรู้สึกอีกด้วย นอกจากนั้นยังพบเห็นได้ทั่วไปในสื่อกระดาษ สีพื้นหลังของเอกสารดิจิทัล สีตัวอักษรต่าง ๆ และเนื่องด้วยการเติบโตอย่างรวดเร็วของประชากรผู้สูงอายุทั่วโลก [1] โดยประเทศไทยมีจำนวนผู้สูงอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป สูงติด 1 ใน 20 อันดับแรกของโลก [2] ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการมองเห็นสีของผู้สูงอายุ โดยเฉพาะความสัมพันธ์ในกลุ่มโทนไร้สี (Achromatic Color) จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและการเลือกใช้สีที่เหมาะสมกับการมองเห็นของผู้สูงอายุที่มีความเสื่อมถอยตามวัย

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสีเพื่อการมองเห็นแยกแยะได้ในผู้สูงอายุ โดยความไวต่อความเปรียบต่างสี (Contrast Sensitivity) จะเริ่มแย่ลงเมื่ออายุ 40-49 ปี และมีความใกล้เคียงกันมากกับกลุ่มอายุ 50-59 ปี โดยจะมีความไวต่อความเปรียบต่างสีที่แย่ที่สุดในกลุ่มอายุ 71-85 ปี [3] ซึ่งในวัย 80 ปี อาจลดลงได้ถึง 83% [4] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเลือกความเปรียบต่างสี (Contrast) ที่เหมาะสมเพียงพอต่อการแยกแยะรูปร่าง วัตถุ หรืออักษรข้อความในการมองเห็นของผู้สูงอายุ โดยแนวทางในการออกแบบเพื่อการเข้าถึงเนื้อหาเว็บไซต์หรือแอปพลิเคชันมือถือ [4]-[5] ได้แนะนำอัตราส่วนความคมชัด (Contrast Ratio) ระหว่างสีข้อความหรือรูปภาพของข้อความ กับสีพื้นหลัง ควรมีอย่างน้อย 7 เพื่อลดความเสี่ยงการสูญเสียความไวต่อความเปรียบต่างสีสำหรับผู้สูงอายุและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความคมชัดสำหรับผู้ตาบอดสีอีกด้วย ซึ่งเครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบความเหมาะสมของอัตราส่วนความคมชัดและจำลองผลลัพธ์

ของการปรับปรุงค่า ได้แก่ Contrast Checker จาก Adobe Color [6] และ WebAIM [7]

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการอ่านข้อความบนจอภาพ LCD ของผู้สูงอายุที่มีอาการคัดกรจกด้วยการสวมแว่นจำลองสถานการณ์การเป็นคัดกรจก [8] โดยพบว่าที่ระดับความสว่างของห้อง 100-1,000 ลักซ์ ใช้ความเปรียบต่างของความส่องสว่างระหว่างข้อความและพื้นหลังสูงขึ้นสำหรับการแสดงขีดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการอ่านตัวอักษรบนพื้นหลัง (อิงค่า ยังสามารถอ่านตัวอักษรบนจอภาพได้ง่าย) โดยพื้นหลังแบบไร้สีและสีน้ำเงิน จะใช้ความเปรียบต่างสูงกว่าสีอื่น ๆ

ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการจัดทำคู่มือชุดสีแนะนำสำหรับ Color Universal Design [9] โดยแนะนำสีในกลุ่มสี Accent Color, Base Color และ Achromatic Color รวมทั้งสิ้น 20 สี พร้อมตัวอย่างการใช้งานรูปแบบต่างๆ เช่น

- ประเภททาสี (Painting) ได้แก่ ป้ายการให้ข้อมูลอาคารสถานที่ของเสาและบริเวณที่แสดงตำแหน่งของที่จอดรถ
 - ประเภทการพิมพ์ (Printing) ได้แก่ แผนที่แนะนำเส้นทางรถไฟ แผนที่ต่าง ๆ ปฏิทิน
 - ประเภทจอแสดงภาพ (Display) ได้แก่ เอกสารการนำเสนอป้ายดิจิทัล
- ทั้งนี้เพื่อการออกแบบสีสำหรับคนทั่วไปและคนที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นสี ให้สามารถแยกแยะได้ง่าย ซึ่งจะมีตัวอย่างของ Achromatic Color ที่จับคู่กับ Accent Color หรือ Base Color แล้วทำให้มองเห็นยากหรือค่อนข้างมองเห็นยากเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานด้วย

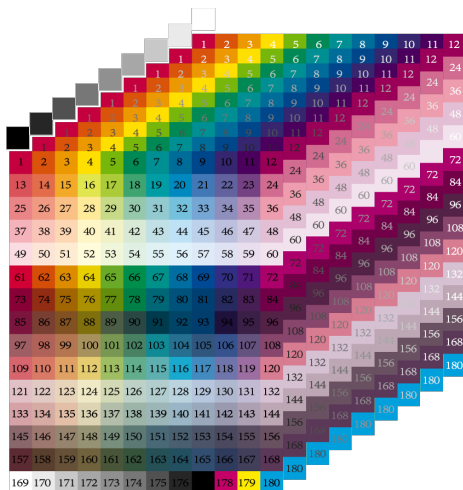
Google ได้ให้แนวทางในการออกแบบ UI (User Interface) โดยในธีมสีเข้ม (Dark Theme) [10] การเลือกใช้สีเทาเข้มเป็นสีพื้นหลักแทนสีดำ จะสามารถแสดงช่วงสี ความสูง และความลึกขององค์ประกอบได้กว้างกว่า เนื่องจากมองเห็นเงาบนสีเทาเข้มกว่าสีดำ พื้นผิวสีเทาเข้มยังช่วยลดอาการเมื่อยล้าของดวงตาเนื่องจากข้อความสว่างบนพื้นผิวสีเทาเข้มจะมีความเปรียบต่างสี (Contrast) น้อยกว่าข้อความสว่างบนพื้นผิวสีดำ สำหรับ

ข้อความสีอ่อนบนพื้นหลังสีเข้ม เช่น สีขาวบนสีดำ หรือข้อความสีเข้มบนพื้นหลังสีอ่อน เช่น สีดำบนสีขาวนั้น ข้อความที่ต้องการเน้นมากหรือข้อความที่สำคัญที่สุดควรมีความทึบแสง 87% [10]-[11] ซึ่งการใช้ค่าความสว่างที่ถูกต้องจะทำให้ผู้ใช้งานอ่านง่ายขึ้น และยังเข้าใจถึงระดับความสำคัญของข้อมูลนั้นๆ ได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

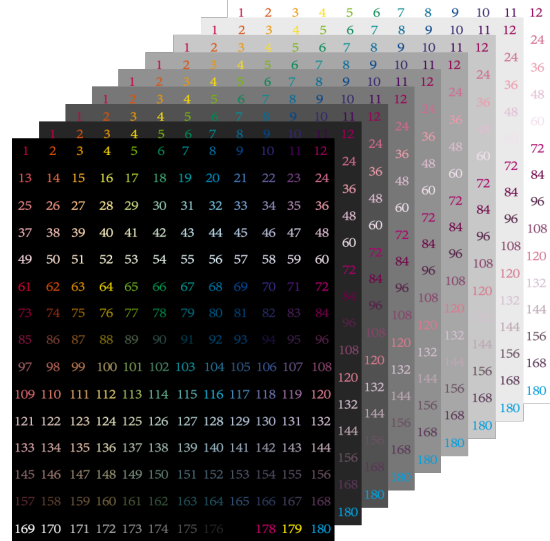
งานวิจัยนี้ได้ต่อยอดองค์ความรู้การศึกษาเกี่ยวกับการมองเห็นสีในผู้สูงอายุ โดยมุ่งเน้นความสัมพันธ์กับ Achromatic Color และชุดสีสื่ออารมณ์ความรู้สึกจาก Color Image Scale เพื่อการออกแบบสีร่วมกับสีขาว สีดำและสีระดับเทาอื่น ๆ ที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดสอบการมองเห็นคู่สีระหว่าง Chromatic กับ Achromatic Colors เลือกใช้ชุดสีที่มีความครอบคลุมของโทนีสี และเชื่อมโยงกับอารมณ์ความรู้สึกจาก Color Image Scale [12] จำนวน 180 สี จัดทำเป็นวัตถุพื้นหน้า (ตัวเลข 1 - 180) บนสีพื้นหลัง โดยใช้ Achromatic Colors จำนวน 9 สี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในชุดสี 180 สี ไประดับจากสีดำไปสีขาว การทดลองแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ 1.ตัวเลขพื้นหน้าเป็นสีระดับเทาบนพื้นหลัง 180 สี (รูปที่ 1) และ 2.ตัวเลขพื้นหน้าเป็น 180 สีบนพื้นหลังสีระดับเทา (รูปที่ 2) โดยแต่ละกลุ่มประกอบด้วย 9 ภาพจาก 9 ระดับสีเทาที่มีค่าสีแดง (R), สีเขียว (G), สีน้ำเงิน (B) ในระบบสี sRGB 8 บิต (0-255) และค่าความสว่าง (L^*) ในระบบสี CIELAB (0-100) ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1. ภาพชุดคู่สีของตัวเลขสีระดับเทาบนพื้นหลัง 180 สี (สีระดับเทาของแต่ละภาพแสดงกำกับไว้ที่ด้านซ้ายบน)



รูปที่ 2. ภาพชุดคู่สีของตัวเลข 180 สีบนพื้นหลังสีระดับเทา

ตารางที่ 1. ค่าสีและความสว่าง (L^*) ของ 9 ระดับสีเทาที่ใช้ในการทดลอง

ระดับที่	(R,G,B)	L^*	แถบสี
1	(0,0,0)	0.00	
2	(38,38,38)	15.16	
3	(81,81,81)	34.45	
4	(119,119,119)	50.03	
5	(144,144,144)	59.79	
6	(167,167,167)	68.49	
7	(200,200,200)	80.60	
8	(234,234,234)	92.70	
9	(255,255,255)	100.00	

ทำการทดสอบการมองเห็นของผู้สูงอายุ โดยการให้เลือกตัวเลขที่มองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น ผ่านแบบสอบถามออนไลน์โดยใช้เครื่องมือ Google Forms ในการจัดทำและแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 3 ครั้งดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป (รูปที่ 3) เพื่อคัดกรองกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้สูงอายุ ไม่เป็นโรคตาบอดสี และทราบข้อมูลพื้นฐานของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 การทดสอบการมองเห็นตัวเลขสีระดับเทาบนพื้นหลัง 180 สี โดยรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างข้อคำถามของสีระดับเทา ระดับที่ 1 และ 5 ของตารางที่ 1

ตอนที่ 3 การทดสอบการมองเห็นตัวเลข 180 สิบบนพื้นหลังสีระดับเทา โดยรูปที่ 5 แสดงข้อคำถามของพื้นหลังที่มีสีระดับเทาตรงกับรูปที่ 4 กล่าวคือ สีระดับเทา ระดับที่ 1 และ 5 ของตารางที่ 1

ซึ่งในการตอบแบบสอบถามมีข้อกำหนดดังนี้

- ผู้ตอบแบบสอบถามตอบแบบสอบถามในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสว่างเพียงพอและเหมาะสม กล่าวคือ ไม่มีมืดหรือสว่างเกินไป และเป็นระดับแสงสว่างที่มีความสบายตาในการมองเห็น
- ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถเลือกใช้อุปกรณ์รับชมได้ตามความสะดวกและความถนัดในการใช้งาน
- ผู้ตอบแบบสอบถามใช้ระดับความสว่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์รับชม กล่าวคือเป็นระดับความสว่างที่ใช้งานปกติของอุปกรณ์
- ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถเลื่อน ปรับขยายภาพได้ เพื่อเลือกตัวเลขที่สีทำให้มองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น โดยสามารถเปรียบเทียบกับตัวเลขอื่นๆ ที่แสดงในข้อทดสอบเดียวกัน ภายได้สภาวะแวดล้อมร่วมกัน เพื่อประกอบการตัดสินใจได้
- เป็นการตอบแบบสอบถามด้วยวิธีการไม่ระบุตัวตน
- ในขณะตอบแบบสอบถาม หากผู้ตอบแบบสอบถามเกิดอาการปวดเวียนศีรษะ ไม่สบายตาหรืออาการไม่พึงประสงค์ สามารถยุติการตอบแบบสอบถามได้ทันที

จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณเป็นอัตราส่วนร้อยละของผู้สูงอายุที่มองเห็นแยกแยะยากในแต่ละคู่สี เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการมองเห็นแยกแยะได้ของแต่ละสีเมื่อคู่สีระดับเทาเปลี่ยนไป และวิเคราะห์หากกลุ่มสีที่มองเห็นได้ดีสำหรับสีขาว สีดำ สีระดับเทาช่วงมืด สีระดับเทาช่วงสว่าง และความหลากหลายของสีระดับเทา เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้สีที่เกี่ยวข้องกับโทนสีระดับเทาสำหรับผู้สูงอายุ

ข้อมูลทั่วไป

เพศ *

☐ ชาย
 ☐ หญิง

อายุ *

☐ 51-60 ปี
 ☐ 61-70 ปี
 ☐ มากกว่า 70 ปี

คุณเคยได้รับการผ่าตัดกระจกหรือไม *

☐ ไม่เคย
 ☐ เคย

ระดับการเป็นต้อกระจกของคุณในปัจจุบัน *

☐ ไม่เป็นต้อกระจก
 ☐ เป็นต้อกระจกระดับน้อย (ไม่รบกวนต่อการใช้ชีวิตประจำวัน หรือรบกวนต้อกระจก หรือมองเห็นสีไม่สดใสเหมือนปกติ หรืออาจมองเห็นภาพเป็นสีเหลือง)
 ☐ เป็นต้อกระจกระดับมาก (มองเห็นสีต่าง ๆ ผิดเพี้ยนไปจากเดิม และมองเห็นภาพไม่ชัดหรือตามืด)

หากคุณมีอาการทางสายตาอื่นๆร่วมด้วย โปรดระบุสามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ

☐ ต้อหิน
 ☐ ต้อเนื้อ
 ☐ ต้อลม
 ☐ ตาบอดสี
 ☐ อื่นๆ:

คุณทำแบบสอบถามนี้โดยใช้อุปกรณ์ใด *

☐ Smartphone
 ☐ Tablet
 ☐ Notebook computer
 ☐ Desktop PC
 ☐ อื่นๆ:

รูปที่ 3. แบบสอบถามออนไลน์ ส่วนข้อมูลทั่วไป

ตัวเลขใน 1 - 180 ตัวเลขใดบ้างที่คุณมองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น

1. ตัวเลขใน 1 - 180 ตัวเลขใดบ้างที่คุณมองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น *

เช่น 24, 97 (สามารถใส่ได้มากกว่า 1 ตัวเลข โดยใช้ลูกน้ำคั่น หรือในกรณีที่ตัวเลขติดกันสามารถใช้ "-" ได้ เช่น 157-160)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180

คำตอบของคุณ

...

5. ตัวเลขใน 1 - 180 ตัวเลขใดบ้างที่คุณมองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น *

เช่น 24, 97 (สามารถใส่ได้มากกว่า 1 ตัวเลข โดยใช้ลูกน้ำคั่น หรือในกรณีที่ตัวเลขติดกันสามารถใช้ "-" ได้ เช่น 157-160)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180

คำตอบของคุณ

...

รูปที่ 4. ตัวอย่างข้อความของแบบสอบถามออนไลน์
(ตัวเลขพื้นหน้าเป็นสีระดับเทา)

ตัวเลขใน 1 - 180 ตัวเลขใดบ้างที่คุณมองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น

1. ตัวเลขใน 1 - 180 ตัวเลขใดบ้างที่คุณมองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น *

เช่น 24, 97 (สามารถใส่ได้มากกว่า 1 ตัวเลข โดยใช้ลูกน้ำคั่น หรือในกรณีที่ตัวเลขติดกันสามารถใช้ "-" ได้ เช่น 157-160)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180

คำตอบของคุณ

...

5. ตัวเลขใน 1 - 180 ตัวเลขใดบ้างที่คุณมองเห็นยาก อ่านลำบาก หรือมองไม่เห็น *

เช่น 24, 97 (สามารถใส่ได้มากกว่า 1 ตัวเลข โดยใช้ลูกน้ำคั่น หรือในกรณีที่ตัวเลขติดกันสามารถใช้ "-" ได้ เช่น 157-160)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180

คำตอบของคุณ

...

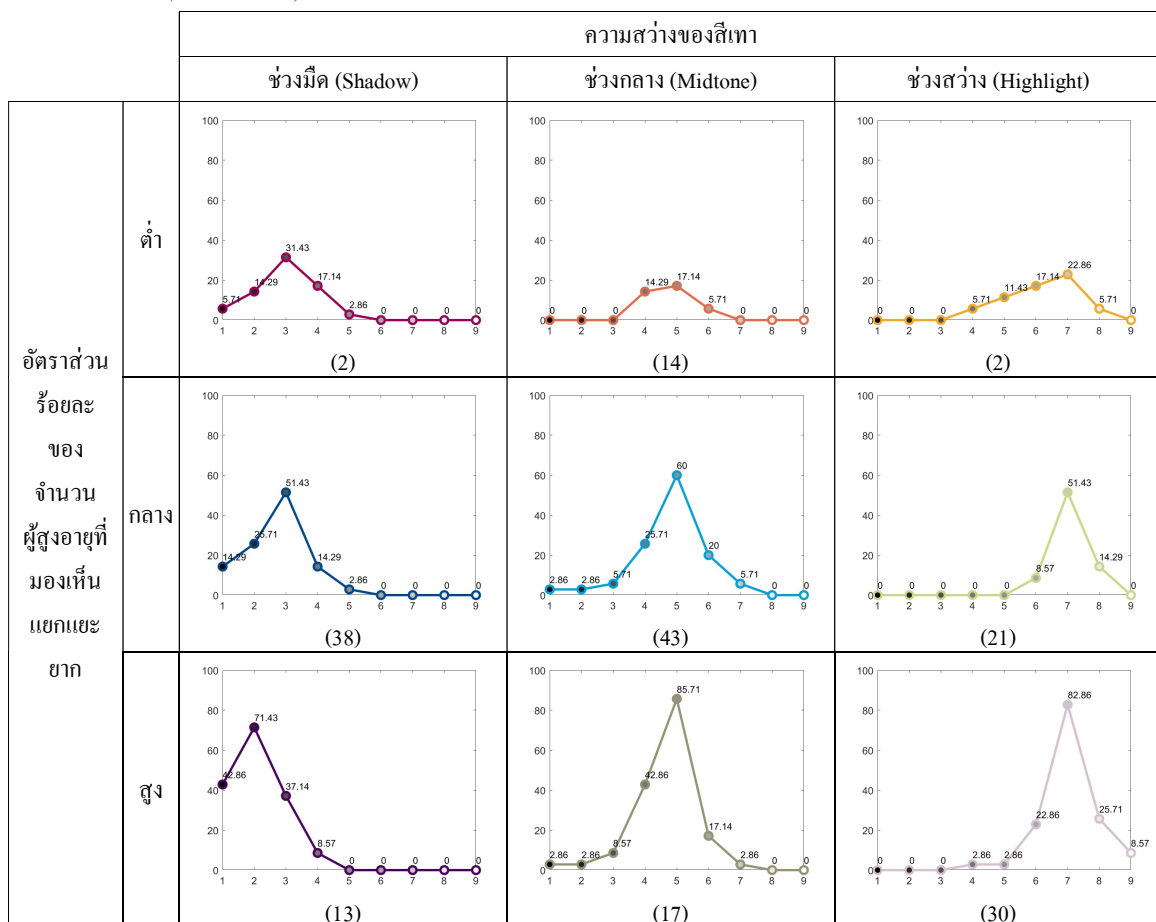
รูปที่ 5. ตัวอย่างข้อความของแบบสอบถามออนไลน์
(พื้นหลังเป็นสีระดับเทา)

3. ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบการมองเห็นคู่สีระหว่าง Chromatic Colors จำนวน 180 สี กับ Achromatic Colors จำนวน 9 สี ได้ระดับจากสีคำไปสีขาว ของผู้สูงอายุจำนวน 35 คน (ชาย 68.57%, หญิง 31.43%) ช่วงอายุ 61-80 ปี (61-70 ปี 42.86%, 71-80 ปี 57.14%) โดยทุกคนไม่เป็นโรคตาบอดสี เมื่อพิจารณาอัตราส่วนร้อยละของจำนวนผู้สูงอายุที่มองเห็นแยกแยะยากในแต่ละสีตามการไล่ระดับสีเทาของสีวัตถุ/สีพื้นหลังจากคำไปขาว สามารถแบ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งค่าสูงสุดของอัตราส่วนการมองเห็นแยกแยะยากได้เป็น 9 รูปแบบดังตารางที่ 2 กล่าวคือ สามช่วงความสว่างของสีเทา (มืด กลาง สว่าง) และสามระดับ

ของอัตราส่วนการมองเห็นแยกแยะยาก (ต่ำ กลาง สูง) โดยตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างกราฟลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการมองเห็นแยกแยะยากที่มีตำแหน่งค่าสูงสุดในแต่ละช่วง (สีจุดวงกลมคือสีของวัตถุ และสีขอบวงกลมคือสีของพื้นหลัง) และค่าในวงเล็บคือจำนวนสีของแต่ละรูปแบบ ซึ่งมีจำนวนเท่ากันระหว่างคู่สีที่มีวัตถุเป็นสีระดับเทาและคู่สีที่มีพื้นหลังเป็นสีระดับเทาจะเห็นได้ว่าจำนวนสีที่มองเห็นยาก (มีค่าอัตราส่วนร้อยละสูง) ในช่วงมืด ช่วงกลาง และช่วงสว่าง (แถวสุดท้ายของตารางที่ 2) คิดเป็นร้อยละ 7.2, 9.4 และ 16.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2. ตัวอย่างกราฟการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการมองเห็นแยกแยะยาก (แกนแนวตั้ง) ตามการไล่ระดับสีเทาของสีวัตถุ/สีพื้นหลังจากคำไปขาว (แกนแนวนอน)



หมายเหตุ จำนวนสีทั้งหมดในแต่ละรูปแบบของคู่สีที่มีวัตถุเป็นสีระดับเทา แสดงด้วยค่าในวงเล็บ ซึ่งมีจำนวนเท่ากับคู่สีที่มีพื้นหลังเป็นสีระดับเทา

จากการศึกษาแนวโน้มของกราฟทั้ง 180 สี โดยช่วงสีระดับเทาที่มีค่าอัตราส่วนร้อยละของจำนวนผู้สูงอายุที่มองเห็นแยกแยะยากต่ำ จะมองเห็นได้ดี ทำให้ได้กลุ่มสีที่สามารถมองเห็นชัดเจนในแต่ละช่วงสีระดับเทาแบ่งได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งแสดงจำนวนสีในแต่ละกลุ่มสีที่มีอัตราส่วนของจำนวนผู้สูงอายุที่มองเห็นแยกแยะยากไม่เกินร้อยละ 5 (ลำดับที่ 1-6) กล่าวคือเป็นกลุ่มสีที่มองเห็นได้ชัดเจน และสำหรับสีที่มองเห็นชัดเจนของทุกช่วงระดับเทานั้น (ลำดับที่ 7-9) คัดเลือกจากกลุ่มสีที่มีอัตราส่วนร้อยละของจำนวนผู้สูงอายุที่มองเห็นแยกแยะยากในระดับต่ำ (ไม่เกิน 1 ใน 3) และมีค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งวัตถุที่เป็นสีระดับเทากับพื้นหลังที่เป็นสีระดับเทาที่มีจำนวนสีที่มองเห็นชัดเจนแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 นอกจากนั้นตารางที่ 3 ยังแสดงจำนวนสีที่มองเห็นได้ดีทั้งในวัตถุและพื้นหลังที่เป็นสีระดับเทาไว้ในคอลัมน์สุดท้ายอีกด้วย

ตารางที่ 3. จำนวนสีที่ผู้สูงอายุมองเห็นชัดเจนแยกตามประเภทคู่สีระดับเทาแบบต่าง ๆ

ลำดับที่	ประเภทคู่สีระดับเทา	กลุ่มสีระดับเทา		
		สีวัตถุ	สีพื้นหลัง	สีวัตถุและสีพื้นหลัง
1	สีดำ	116	111	108
2	สีขาว	133	125	123
3	สีดำและสีขาว	69	59	54
4	ช่วงมืด (Shadow)	79	68	64
5	ช่วงสว่าง (Highlight)	71	83	56
6	ช่วงมืดและสว่าง	7	3	3
7	ทุกช่วงสีระดับเทา	18	12	12
8	ทุกช่วงสีระดับเทาและสีดำและสีขาว	11	9	7
9	ทุกช่วงสีระดับเทาและช่วงมืดและช่วงสว่าง	14	0	0

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างสีที่มองเห็นชัดเจนสำหรับกลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีวัตถุและสีพื้นหลัง ของประเภทคู่สีระดับเทาแบบต่าง ๆ ได้แก่ สีดำและสีขาว สีระดับเทาช่วงมืด สีระดับเทาช่วงสว่าง

สีระดับเทาช่วงมืดและสว่าง ทุกช่วงสีระดับเทาและสีดำและสีขาว (กลุ่มสีลำดับที่ 3-6 และ 8 ของคอลัมน์สุดท้าย(ช่องสีเหลือง)ในตารางที่ 3) พร้อมค่าสี RGB โดยแสดงสีตามค่าสีจริงของแต่ละตัวอย่าง และแสดงลำดับที่สีตามตัวเลขที่ใช้เป็นวัตถุของคู่สีในรูปแบบที่ 1

ตารางที่ 4. ตัวอย่างสีที่ผู้สูงอายุมองเห็นชัดเจนสำหรับประเภทคู่สีระดับเทาแบบต่าง ๆ

ประเภทคู่สีระดับเทา	ลำดับที่สี	กลุ่มสีระดับเทา	
		สีวัตถุ	สีพื้นหลัง
สีดำและสีขาว	5	(119,182,10)	(119,182,10)
	66	(0,142,77)	(0,142,77)
	98	(176,98,88)	(176,98,88)
	5	(119,182,10)	(119,182,10)
	66	(0,142,77)	(0,142,77)
	98	(176,98,88)	(176,98,88)
สีระดับเทาช่วงมืด	3	(236,152,0)	(236,152,0)
	4	(255,223,0)	(255,223,0)
	37	(244,178,186)	(244,178,186)
	3	(236,152,0)	(236,152,0)
	4	(255,223,0)	(255,223,0)
	37	(244,178,186)	(244,178,186)
	3	(236,152,0)	(236,152,0)
	4	(255,223,0)	(255,223,0)
	37	(244,178,186)	(244,178,186)
สีระดับเทาช่วงสว่าง	11	(70,0,92)	(70,0,92)
	69	(0,73,148)	(0,73,148)
	157	(92,42,51)	(92,42,51)
	11	(70,0,92)	(70,0,92)
	69	(0,73,148)	(0,73,148)
	157	(92,42,51)	(92,42,51)
	11	(70,0,92)	(70,0,92)
	69	(0,73,148)	(0,73,148)
	157	(92,42,51)	(92,42,51)
	157	(92,42,51)	(92,42,51)

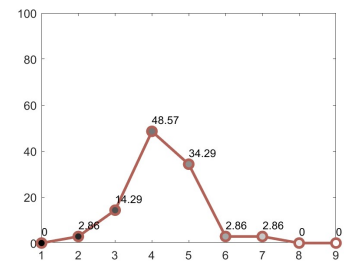
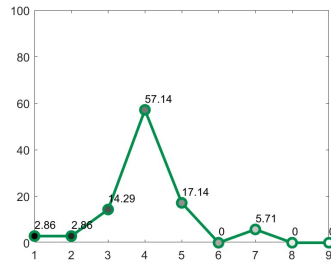
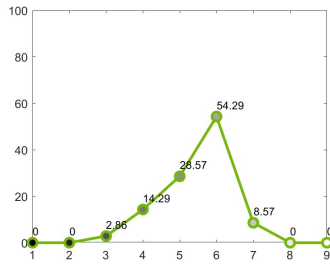
ประเภทคู่สี ระดับเทา	ลำดับที่สี	กลุ่มสีระดับเทา	
		สีวัตถุ	สีพื้นหลัง
สีระดับเทา ช่วงมืดและ สว่าง	114	(98,174,140)	(98,174,140)
	115	(93,176,175)	(93,176,175)
	116	(26,169,206)	(26,169,206)
	114	(98,174,140)	(98,174,140)
	115	(93,176,175)	(93,176,175)
	116	(26,169,206)	(26,169,206)
	114	(98,174,140)	(98,174,140)
	115	(93,176,175)	(93,176,175)
	116	(26,169,206)	(26,169,206)
	114	(98,174,140)	(98,174,140)
	115	(93,176,175)	(93,176,175)
	116	(26,169,206)	(26,169,206)
	114	(98,174,140)	(98,174,140)
	115	(93,176,175)	(93,176,175)
	116	(26,169,206)	(26,169,206)
	114	(98,174,140)	(98,174,140)
ทุกช่วงสี ระดับเทา และสีดำ และสีขาว	2	(217,83,10)	(217,83,10)
	13	(219,83,90)	(219,83,90)
	178	(197,0,103)	(197,0,103)
	2	(217,83,10)	(217,83,10)
	13	(219,83,90)	(219,83,90)
	178	(197,0,103)	(197,0,103)
	2	(217,83,10)	(217,83,10)
	13	(219,83,90)	(219,83,90)
	178	(197,0,103)	(197,0,103)

รูปที่ 6 แสดงกราฟอัตราส่วนการมองเห็นแยกแยะยาก (แกนแนวนอน) เมื่อไล่คู่สีระดับเทาจากดำไปขาว (แกนแนวนอน) ของสีวัตถุและสีพื้นหลังในตัวอย่างคู่สีของตารางที่ 4 ที่ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นได้ชัดเจน (สีวัตถุแสดงด้วยสีจุดวงกลมและสีพื้นหลังแสดงด้วยสีขอบวงกลม) โดยมีลำดับที่สี (ตัวเลขที่เป็นวัตถุของคู่สี) แสดงอยู่ใต้ภาพและในแต่ละประเภทคู่สีระดับเทา แถวบนคือกลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีวัตถุและแถวล่างคือกลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีพื้นหลัง

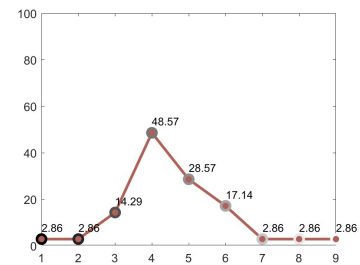
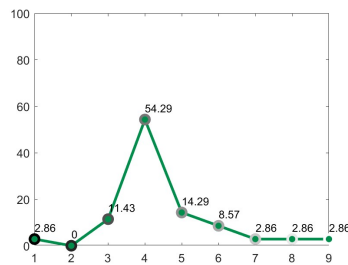
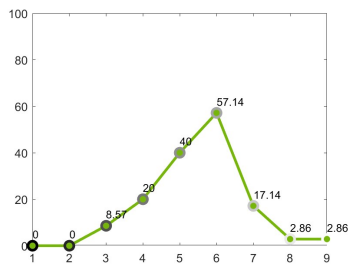
จากกราฟในรูปที่ 6 จะเห็นว่าประเภทคู่สีระดับเทาที่ผู้สูงอายุมองเห็นชัดเจน จะมีอัตราส่วนของจำนวนผู้สูงอายุที่มองเห็นแยกแยะยาก ไม่เกินร้อยละ 5 ในช่วงสีระดับเทานั้น ๆ โดยประเภทคู่สีระดับเทาช่วงมืดและช่วงสว่างครอบคลุม 3 ระดับเทาแรกและ 3 ระดับเทาสุดท้ายตามลำดับ

นอกจากนั้นในประเภทคู่สีแบบทุกช่วงสีระดับเทาและสีดำและสีขาวนั้น (ประเภทสุดท้ายของรูปที่ 6) จะมีอัตราส่วนร้อยละของจำนวนผู้สูงอายุที่มองเห็นแยกแยะยากของทุกสีระดับเทาในระดับค่า ไม่เกินร้อยละ 33.33 (หรือ 1 ใน 3) และมีค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 10 เพิ่มเติมจากการมองเห็นคู่สีดำและคู่สีขาวที่ชัดเจนแล้วอีกด้วย

โดยค่าสี RGB ทั้งหมดของแต่ละประเภทคู่สีระดับเทาในตารางที่ 3 ได้ถูกรวบรวมสรุปอยู่ในลิงก์ shorturl.at/uMRV9 เพื่อการเลือกใช้ในงานออกแบบที่เกี่ยวข้องกับโทนสีระดับเทาสำหรับผู้สูงอายุนอกจากนั้นการพิจารณาเลือกคู่สีที่มีอัตราส่วนความคมชัด (ContrastRatio) สูงควบคู่ไปด้วย ก็จะยิ่งช่วยให้ทั้งผู้สูงอายุและบุคคลทั่วไปสามารถแยกแยะวัตถุออกจากพื้นหลังได้ดียิ่งขึ้น



กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีวัตถุ



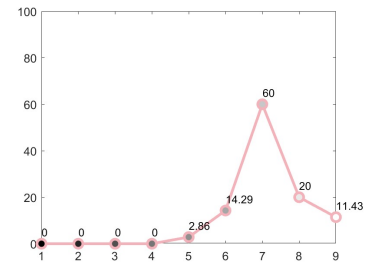
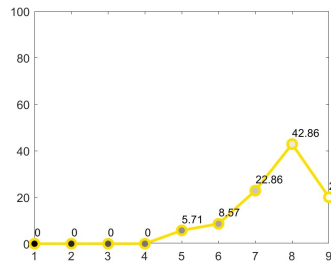
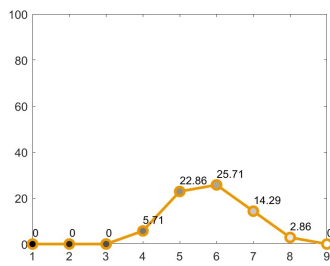
กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีพื้นหลัง

ลำดับที่สี: 5

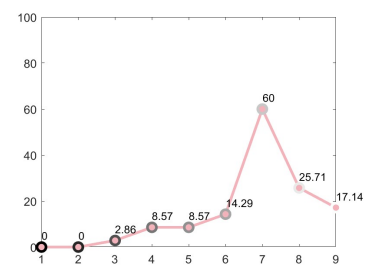
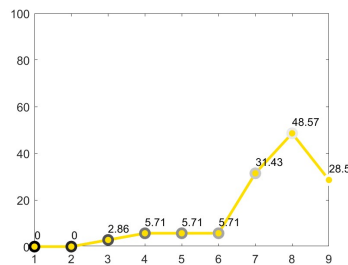
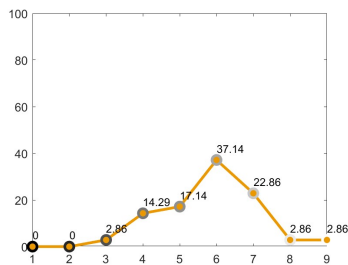
66

98

ประเภทคู่สีระดับเทา: สีดำและสีขาว



กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีวัตถุ



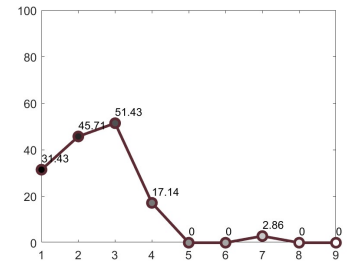
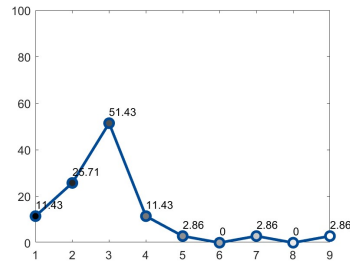
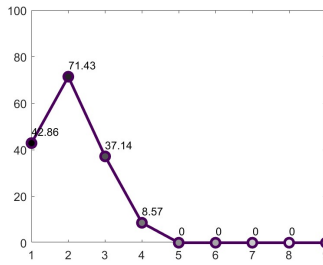
กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีพื้นหลัง

ลำดับที่สี: 3

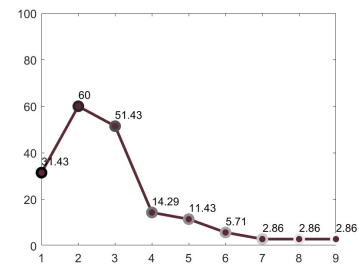
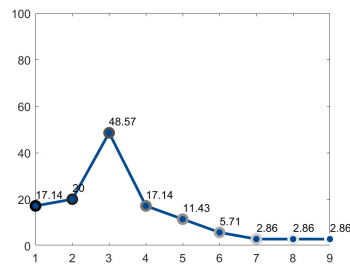
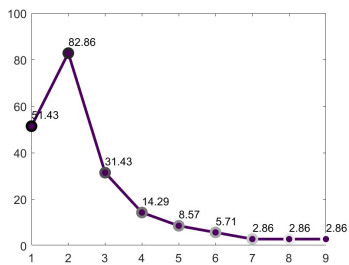
4

37

ประเภทคู่สีระดับเทา: สีระดับเทาเข้มมืด



กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีวัตถุ



กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีพื้นหลัง

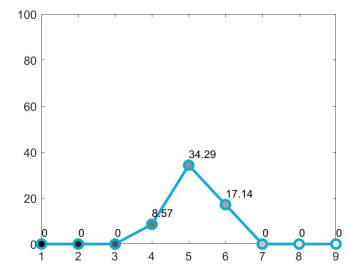
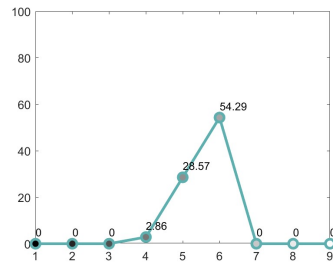
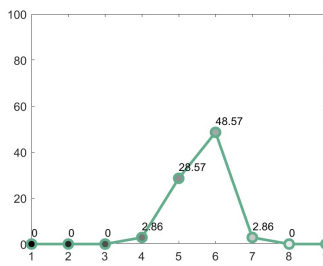
ลำดับที่สี: 11

69

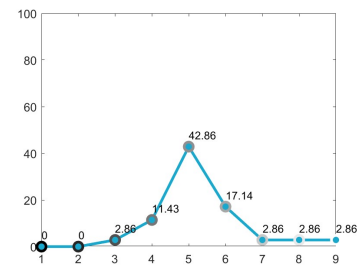
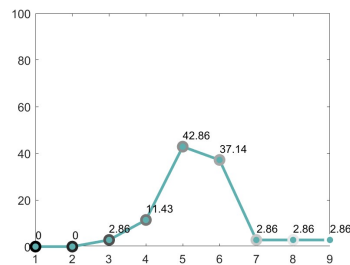
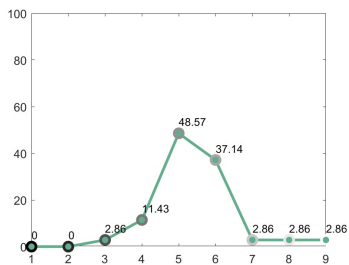
157

ประเภทคู่สีระดับเทา:

สีระดับเทาช่วงสว่าง



กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีวัตถุ



กลุ่มสีระดับเทาที่เป็นสีพื้นหลัง

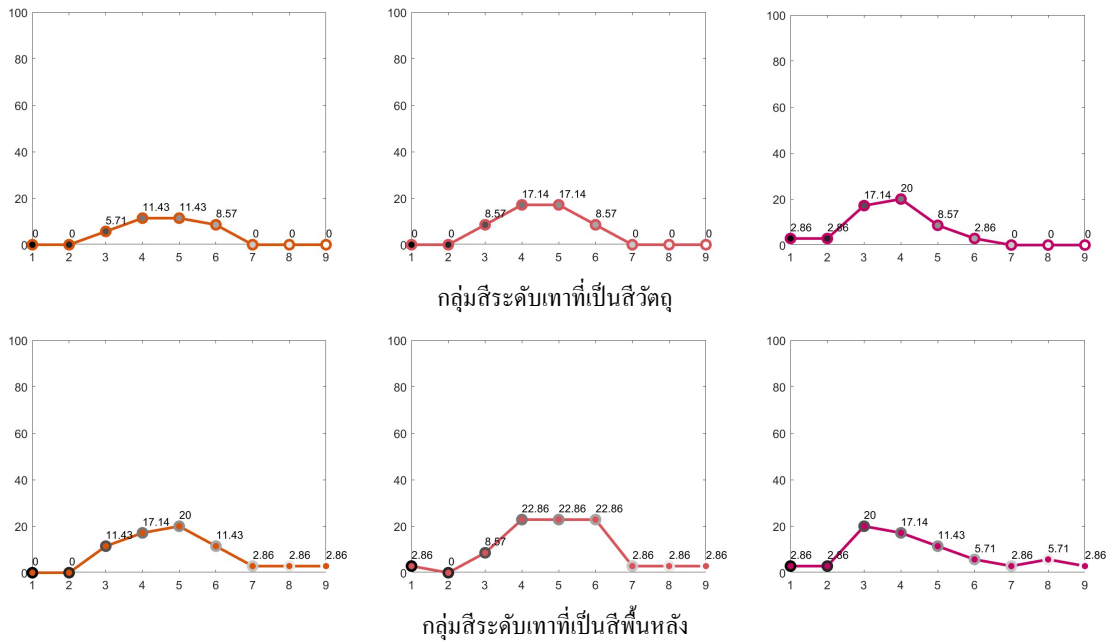
ลำดับที่สี: 114

115

116

ประเภทคู่สีระดับเทา:

สีระดับเทาช่วงมืดและสว่าง



ลำดับที่สี: 2

13

178

ประเภทกลุ่มสีระดับเทา: ทุกช่วงสีระดับเทาและสีดำและสีขาว

รูปที่ 6. กราฟอัตราส่วนการมองเห็นแยกแยะยาก (แกนแนวนอน) ตามการไล่ระดับสีระดับเทาจากดำไปขาว (แกนแนวนอน) ของสีวัตถุ (แถวบน) และสีพื้นหลัง (แถวล่าง) ในตัวอย่างคู่สีของตารางที่ 4 ที่ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นได้ชัดเจน

4. บทสรุปและการอภิปราย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคู่สีของ Achromatic Color แบบต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการมองเห็นของผู้สูงอายุโดยใช้ชุดสีจาก Color Image Scale จำนวน 180 สีเพื่อสะดวกต่อการเลือกใช้สำหรับงานออกแบบในการสื่ออารมณ์ความรู้สึกโดยผลจากการทดสอบการมองเห็นของผู้สูงอายุทำให้ได้สีที่ผู้สูงอายุมองเห็นชัดเจนแยกตามประเภทกลุ่มสีระดับเทาแบบต่างๆ ดังนี้ 1. สีดำ 2. สีขาว 3. สีดำและสีขาว 4. สีระดับเทาเข้มมืด 5. สีระดับเทาเข้มสว่าง 6. สีระดับเทาเข้มมืดและสว่าง 7. ทุกช่วงสีระดับเทา 8. ทุกช่วงสีระดับเทาและสีดำและสีขาว 9. ทุกช่วงสีระดับเทาและสว่างมืดและสว่างโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มสีระดับเทา คือ 1. สีวัตถุ 2. สีพื้นหลัง 3. ทั้งสีวัตถุและสีพื้นหลัง ซึ่งได้สรุปรวบรวมค่า RGB ในแต่ละกลุ่มเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบสีร่วมกับ Achromatic Color ที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ โดยในอนาคตการศึกษาเกี่ยวกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในสื่อดิจิทัลงาน

ตกแต่งรูปแบบต่างๆ สื่อสิ่งพิมพ์ก็จะช่วยสร้างความละเอียดอ่อนในการนำไปใช้งานเฉพาะทางด้านต่างๆ มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก Takahashi Industrial and Economic Research Foundation

เอกสารอ้างอิง

- [1] United Nations, "Ageing,". [Online]. Available: <https://www.un.org/en/global-issues/ageing>. [Accessed: Apr. 16, 2022].
- [2] Population Reference Bureau, "Countries with the Oldest Populations in the World,". [Online]. Available: <https://www.prb.org/resources/countries-with-the->

- oldest-populations-in-the-world/. [Accessed: Apr. 16, 2022].
- [3] R. Liutkeviciene, D. Cebatoriene, G. Liutkeviciene, V. Jasinskas, and D. Zaliuniene, "Associations between contrast sensitivity and aging," *Medicina (Kaunas)*, vol. 49, no. 6, pp. 273-277, 2013.
- [4] M. A. Jadcowski, "Understanding Recommended Color Contrast," *eldertech.org*, Jan. 11, 2017. [Online]. Available: <https://eldertech.org/color-contrast-apps-for-older-adults>. [Accessed Apr. 16, 2022].
- [5] World Wide Web Consortium, "Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1," 2018. [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>. [Accessed Apr. 16, 2022].
- [6] Adobe Color, "Contrast Checker," [Online]. Available: <https://color.adobe.com/create/color-contrast-analyzer>. [Accessed Apr. 16, 2022].
- [7] Institute for Disability Research, Policy, and Practice, "Contrast Checker," [Online]. Available: <https://webaim.org/resources/contrastchecker/>. [Accessed Apr. 16, 2022].
- [8] P. Pratumrat, "Effects of room illuminance on luminance contrast threshold on LCD for the elderly with cataract," M. S. thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, 2011.
- [9] Model Color Palette for Color Universal Design Working Committee, "Model Color Palette for Color Universal Design Guide Book," 2018. [Online]. Available: https://jfly.uni-koeln.de/colorset/CUD_color_set_GuideBook_2018.pdf [Accessed Apr. 16, 2022].
- [10] Google, "Dark Theme," [Online]. Available: <https://material.io/design/color/dark-theme.html>. [Accessed: Apr. 16, 2022].
- [11] Google, "Text Legibility," [Online]. Available: <https://material.io/design/color/text-legibility.html>. [Accessed: Apr. 16, 2022].
- [12] H. Nagumo, *New Color Image Chart*. Tokyo, Japan: Graphic-sha, 2016



การวิเคราะห์เครือข่ายส่วนผสมและกลิ่นรสในอาหารไทย

Ingredient and Flavor Network Analysis In Thai Cuisine

ณัฐนิมา สุรเดช^{1*} และ วิลาวลัย ยาทองคำ²

Natsima Suradet^{1*} and Wilawan Yathongkhum²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Computer Engineering Program, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

²ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Department of Computer Science, Faculty of Science, Chiang Mai University

Received: September 22, 2022; Revised: November 23, 2022; Accepted: December 21, 2022; Published: December 30, 2022

ABSTRACT – Thai cooking places emphasis on a specific smell and taste of ingredients to create a different recipe based on the dish type. Moreover, the flavor is considered an important part that generates consumer satisfaction with the flavors in each dish. Therefore, this research aims to analyze the ingredient and flavor network in Thai cuisine. Statistical tools were used to carry out the study characterization of the cuisine and a flavor network was constructed to analyze the relationship between ingredients and flavor compounds. It was found that the flavor network of main dishes is different from dessert. In addition, most of the prevalent ingredients in the cuisine tend to share many flavor compounds. The frequency of ingredients used indicates a cooking style that corresponds to the unique taste of each dish type. This research will be useful to those who are interested in Thai dining for applying this finding to further research and development of food innovations in the field of flavor, recipes, or commoditization of new food products.

KEYWORDS: Flavor networks, Flavor analysis, Ingredient analysis, Thai cuisine

บทคัดย่อ -- ในการปรุงอาหารไทยนั้นกลิ่นและรสชาติเฉพาะของวัตถุดิบแต่ละชนิดถูกนำมาใช้เพื่อรังสรรค์อาหารประเภทต่าง ๆ นอกจากนี้นักชิมยังถือได้ว่าเป็นส่วนสำคัญที่สร้างความพึงพอใจให้กับผู้บริโภคที่มีต่อรสชาติของอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์เครือข่ายส่วนผสมและกลิ่นรสในอาหารไทย โดยใช้เครื่องมือทางสถิติในการศึกษาลักษณะของอาหาร และสร้างกราฟเครือข่ายกลิ่นรสเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมและสารประกอบกลิ่นรสในอาหาร จากผลการวิจัยพบว่าเครือข่ายกลิ่นรสของอาหารคาวและอาหารหวานมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ส่วนผสมที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายมักจะมีการแชร์กลิ่นรสร่วมกันเป็นจำนวนมาก และความถี่ของการใช้ส่วนผสมนั้นแสดงให้เห็นรูปแบบของการทำอาหารที่สอดคล้องกับรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของอาหารแต่ละประเภท งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจสามารถนำองค์ความรู้ไปวิจัยต่อยอดและพัฒนานวัตกรรมอาหารด้านกลิ่นรสที่จะช่วยในการสร้างกลิ่นรสสูตรอาหาร หรือออกแบบผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: เครือข่ายกลิ่นรส, การวิเคราะห์กลิ่นรส, การวิเคราะห์ส่วนผสม, อาหารไทย

*Corresponding Author: Natsima@rmutl.ac.th

1. บทนำ

อาหารไทยเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สำคัญของชาติ มีการสังสรรค์และถ่ายทอดมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน การปรุงอาหารไทยมีมาแต่โบราณคาดว่าก่อนสมัยสุโขทัย [1] การปรุงอาหารนั้นเป็นการผสมผสานศาสตร์การใช้รสชาติและศาสตร์การใช้กลิ่นเฉพาะของวัตถุดิบแต่ละชนิดเพื่อรังสรรค์อาหารเลิศรสที่มีกลิ่นหอมกระตุ้นความอยากอาหาร [2] กลิ่นรส (Flavors) เป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของอาหาร เป็นการรวมความรู้สึกรวมกันที่เกิดขึ้นขณะรับประทานอาหาร ได้แก่ การรับรู้ทางกลิ่น (Aroma) ที่เกิดขึ้น ภายในโพรงจมูก การรับรู้รสชาติ (Taste) เกิดขึ้นภายในปาก และยังรวมถึงความรู้สึกต่างๆ เช่น การรับรู้ความเผ็ดร้อน ความฝาด ความร้อนและเย็น [3] สารให้รสและกลิ่นในอาหารไทยส่วนใหญ่เกิดจากวัตถุดิบจากธรรมชาติที่นำมาใช้ประกอบอาหาร กลิ่นรสถือว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งของอาหาร สามารถใช้เป็นมาตรฐานในการตัดสินคุณภาพของอาหาร [4], [5] เมื่อรับประทานอาหารเข้าไป ความรู้สึกในรส และกลิ่นจะถูกกระตุ้นขึ้นพร้อมๆกัน ซึ่งจะทำให้เกิดความรู้สึกชอบหรือไม่ชอบในกลิ่นรสของอาหารชนิดนั้น สารประกอบกลิ่นรส (Flavor compounds) ของส่วนผสมในการทำอาหารจึงเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการค้นหาหลักการที่อาจรองรับการเลือกใช้ส่วนผสมให้มีกลิ่นรสเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค [6]

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเพื่อประมวลผลสูตรอาหารโดยใช้แบบจำลองซึ่งมีตั้งแต่การวิเคราะห์รายการส่วนผสมของสูตรอาหารแต่ละสูตรโดยใช้เทคนิคการสร้างคลังคำศัพท์ และใช้เทคนิค Latent Dirichlet Allocation (LDA) เพื่อวิเคราะห์การจัดกลุ่มส่วนผสมจากการใช้วัตถุดิบร่วมกันในสูตรอาหาร นอกจากนี้ยังผสมผสานส่วนผสมที่แปลกใหม่ขึ้นมาโดยใช้หลักการของโครงข่ายความเชื่อเชิงลึก (Deep Belief Networks) [7] J. Jermurawong, and N. Habash [8]เสนอการแทนสูตรอาหารด้วยโครงสร้างต้นไม้แบบพึ่งพา (dependency tree) โดยในส่วนของโหนดใบแทนวัตถุดิบในสูตรอาหาร และโหนดอื่นๆภายในต้นไม้จะแสดงถึงวิธีการประกอบอาหารที่มีอยู่ในสูตร Y. Y. Ahn, et al. [6]สร้างเครือข่ายกลิ่นรสเพื่อตรวจสอบสมมติฐานการจับคู่อาหาร โดยระบุสารประกอบกลิ่นรสที่มีอยู่ในส่วนผสมของสูตรอาหาร A. Jain, R. N K and G.Bagler [9] ศึกษาการจับคู่อาหารในสูตรอาหารอินเดีย และนำเสนอแบบจำลองวิวัฒนาการการ

ทำอาหารซึ่งจำลองการกระจายการใช้ส่วนผสมตลอดจนการจับคู่อาหาร B.Khan [10] ใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ (Association rule mining) เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างกลิ่นรสและกลุ่มฟังก์ชันทางเคมีในอาหาร 4 ประเภทคือ ผัก, ผลไม้, เครื่องเทศ และเนื้อสัตว์ จากรูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้พบว่ามีความแตกต่างกันในอาหารแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังทำนายโมเลกุลของกลิ่นรสโดยใช้ molecular descriptors เช่น จำนวนพันธะของไฮโดรเจน, จำนวนวงแหวน ฯลฯ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและทำการวิเคราะห์เครือข่ายส่วนผสมและกลิ่นรสในอาหารไทย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล และเครื่องมือทางสถิติในการศึกษาลักษณะของอาหาร ส่วนผสม องค์ประกอบของสูตรอาหาร และกลิ่นรสในอาหารแต่ละประเภท เพื่อช่วยให้มีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับกลิ่นรสในอาหารไทยซึ่งสามารถนำองค์ความรู้นี้ไปวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารด้านกลิ่นรสได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล และการเตรียมข้อมูลเพื่อการประมวลผล

ข้อมูลเกี่ยวกับสูตรอาหารไทยที่ใช้ในงานวิจัยนี้รวบรวมมาจากเว็บไซต์ FoodTravel.tv [11] ด้วยการใช้เทคนิคการสกัดและดึงข้อมูลแบบ Web Scraping โดยสูตรอาหารที่ติดป้ายระบุ (tagged) ว่าเป็นอาหารไทยจะถูกรวบรวมและจัดเก็บไว้ในชุดข้อมูล (data set) รายละเอียดของข้อมูลที่จัดเก็บประกอบไปด้วย ชื่อเมนูอาหารส่วนผสม และวิธีการปรุงอาหารดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 1 เมนูอาหารที่รวบรวมมาได้มีทั้งหมดจำนวน 2,085 สูตร แบ่งออกเป็นรายการของอาหารลาว 1,734 สูตร และอาหารหวานจำนวน 351 สูตร

ในกระบวนการของการเตรียมข้อมูลนั้น ข้อความบอกปริมาณของส่วนผสม เช่น 1 ช้อนโต๊ะ หรือ 200 กรัม จะถูกลบออกจากชุดข้อมูล สำหรับส่วนผสมที่เป็นคำพ้องความหมายจะถูกแทนที่ด้วยการใช้คำเพียงชุดเดียว เช่น สายบัว/ไหลบัว/หลอดบัว จะถูกแทนที่ด้วยคำว่าไหลบัว เป็นต้น จากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปสกัด (extraction) รายการส่วนผสมที่ปรากฏอยู่ในสูตรอาหาร โดยรายการส่วนผสมที่สกัดออกมานั้นจะถูกแบ่งประเภทตามวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งประกอบไปด้วย 16 ประเภท ดังนี้ พืช ผัก ผลไม้ ธัญพืช เห็ด เนื้อสัตว์ ถั่ว อาหารทะเล เครื่องเทศ สมุนไพร ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากนม ผลิตภัณฑ์จากพืช ผลิตภัณฑ์จากสัตว์ แป้ง และดอกไม้

ตารางที่ 1. ตัวอย่างชุดข้อมูลอาหาร

เมนูอาหาร	ส่วนผสม	กรรมวิธี การปรุง
ไข่เจียวหมูสับ	ไข่ หมูสับ ต้นหอม น้ำมัน พืช	ทอด
แกงเลียงหัวปลี	หัวปลี เห็ดนางฟ้ากระชาย พริกไทย พริก ข้าวโพด ตำลึง ใบแมงลัก	แกง
ห่อหมกทะเล	ไข่ กะทิ ปลาหมึก กุ้ง ปลา ช่อน โหระพา พริก ใบ มะกรูด น้ำปลา แป้ง ข้าวโพด	นึ่ง
ข้าวผัดปู	ปู ไข่ ข้าว ต้นหอม ซีอิ้วขาว น้ำปลา น้ำมันพืชพริกไทย กระเทียม	ผัด

สารประกอบที่ให้กลิ่นรสของส่วนผสมที่ใช้ในการประกอบอาหารที่พบในการวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องมาจากรายชื่อข้อมูล FlavorDB [12] โดยชุดข้อมูลกลิ่นรสนี้ จะประกอบไปด้วยชื่อของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสม และสารประกอบกลิ่นรสที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ตัวอย่างชุดข้อมูลกลิ่นรส

ส่วนผสม	สารประกอบกลิ่นรส
ไข่	1-Penten-3-OL, 2-Ethyl-3-Methylpyrazine, 1-Undecanol, CID 644104, Thiamine, Thiamine Hydrochloride, Betaine, DI-Phenylalanine, Heptanoic Acid, Indole, etc.

น้ำมันพืช	Betaine, CID 644104, Heptanoic Acid, Thiamine
ต้นหอม	1-Pyrroline, Betaine, 3-Hexanone, CID 644104, Methanethiol, Indole, Thiamine, Cyclopentanone, Propionaldehyde, vanillin, 2-Methylbutyraldehyde, etc.
เนื้อหมู	Betaine, CID 644104, Heptanoic Acid, Thiamine, 1-Undecanol, 1-Hexanethiol, 1-Penten-3-OL, 2-Acetylpyrrole, 2-Decenoic acid, etc.

2.2 การวิเคราะห์ลักษณะของอาหารไทย

การวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้นในการศึกษาเกี่ยวกับสูตรอาหารนั้น จะพิจารณาจากจำนวนส่วนผสมในสูตรอาหารแต่ละสูตร ซึ่งจำนวนส่วนผสมที่แตกต่างกันนั้นอาจขึ้นอยู่กับประเภทของอาหาร และระดับความยากง่ายในการประกอบอาหาร ดังนั้นในการวิจัยนี้จำนวนส่วนผสมเฉลี่ยต่อสูตรจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงแนวโน้มของส่วนผสมที่ใช้ในอาหารไทย

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบลักษณะของการใช้ส่วนผสมตามวิธีการปรุงอาหารเนื่องจากวิธีการปรุงอาหารนั้นมีผลต่อกลิ่นรสของอาหาร อาหารที่ถูกปรุงให้สุกด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน หรือด้วยวิธีการที่ต่างกัน ย่อมจะมีกลิ่นรสของอาหารที่แตกต่างกันไปด้วย [13] ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงแบ่งข้อมูลอาหารไทยออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ อาหารคาว และอาหารหวาน ซึ่งชุดข้อมูลในกลุ่มอาหารทั้งสองชุดนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามประเภทของการปรุงอาหารจำนวนทั้งสิ้น 11 ประเภท คือ ต้มยำ แกง หลน คั่ว ปิ้ง/ย่าง นึ่ง ผัด ทอด กวน และอบ [14] หลังจากนั้นข้อมูลส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในการปรุงอาหารตามสูตรของรายการอาหารในแต่ละกลุ่ม จะถูกนำมาหาความแพร่หลาย (prevalence) ของการใช้ส่วนผสมนั้นๆ ตามสมการที่ (1) ส่วนผสมใดที่มีค่าความแพร่หลายมากแสดงว่าส่วนผสมนั้นมีความสำคัญ หรือเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการปรุงอาหารประเภทนั้นๆ

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

โดยที่

P_i คือ ความแพร่หลายของส่วนผสม i

n_i คือ จำนวนสูตรอาหารที่มีส่วนผสม i

N คือ จำนวนสูตรอาหารทั้งหมด

2.3 เครือข่ายกลั่นรสของส่วนผสมในอาหารไทย

การสร้างเครือข่ายกลั่นรสเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมและสารประกอบกลิ่นรสที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในอาหาร ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สร้างเครือข่ายกลั่นรสของส่วนผสมในอาหารไทยเป็นลักษณะของกราฟสองส่วน (bipartite graph) ที่มีโหนดเป็นส่วนผสมที่ใช้ในสูตรอาหาร โดยที่โหนด 2 โหนดจะเชื่อมกันก็ต่อเมื่อมีสารประกอบกลิ่นรสที่เหมือนกัน และน้ำหนักของเส้นเชื่อมคือจำนวนของสารประกอบกลิ่นรสที่มีเหมือนกันในส่วนผสมทั้งสอง [6] โดยจำนวนของสารประกอบกลิ่นรสที่เหมือนกันระหว่างส่วนผสมสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

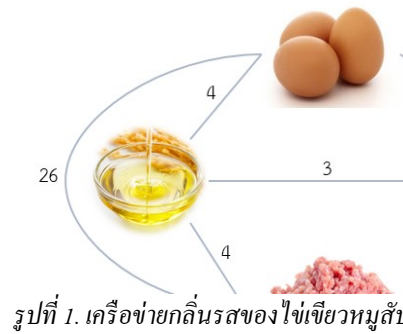
$$N_{ij} = |C_i C_j| \quad (2)$$

โดยที่

N_{ij} คือจำนวนของสารประกอบกลิ่นรสที่มีเหมือนกันในส่วนผสมชนิดที่ i และ j ซึ่งส่วนผสมทั้งสองชนิดนั้นต้องปรากฏอยู่ในรายการอาหารที่พิจารณา

C_i และ C_j คือเซตของสารประกอบกลิ่นรสของส่วนผสมชนิดที่ i และ j ตามลำดับ

ในรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างเครือข่ายกลั่นรสของไข่เจียวหมูสับ ซึ่งประกอบด้วย ไข่ หมูสับ ต้นหอม และน้ำมันพืช ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยส่วนผสมแต่ละอย่างจะถูกคำนวณเพื่อหาจำนวนของสารประกอบกลิ่นรสที่มีเหมือนกันกับส่วนผสมอื่นๆ จากตัวอย่างข้อมูลสารประกอบกลิ่นรสที่แสดงในตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาจำนวนของสารประกอบกลิ่นรสที่พบในน้ำมันและไข่ จะพบว่ามีความสัมพันธ์กับสารประกอบกลิ่นรสที่ใช้ร่วมกันอยู่ 4 ตัวคือ Betaine, CID 644104, Heptanoic Acid และ Thiamine ในส่วนของน้ำมันและต้นหอมมีจำนวนสารประกอบกลิ่นรสที่เหมือนกันอยู่ 3 ตัวคือ Betaine, CID 644104 และ Thiamine เป็นต้น

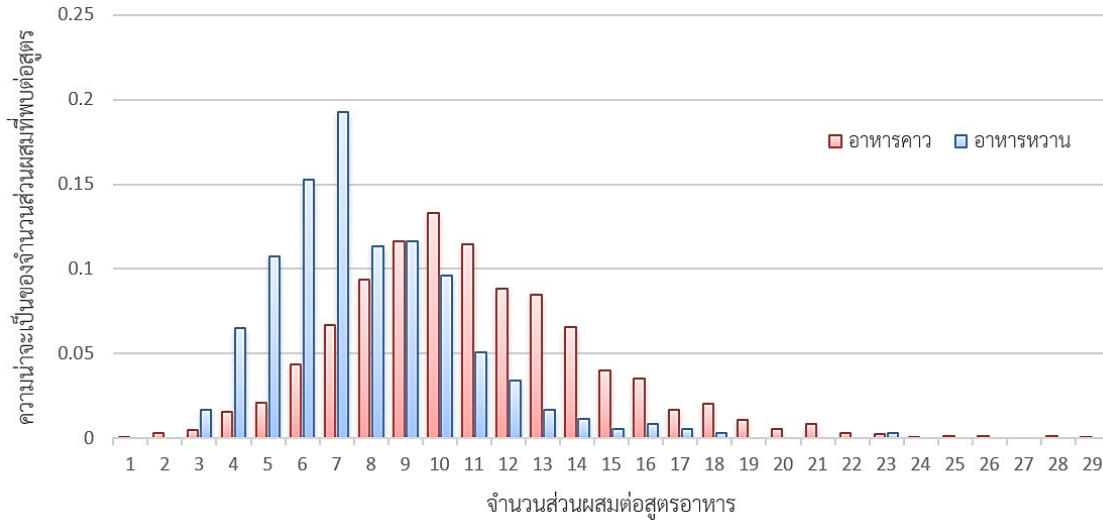


รูปที่ 1. เครือข่ายกลั่นรสของไข่เจียวหมูสับ

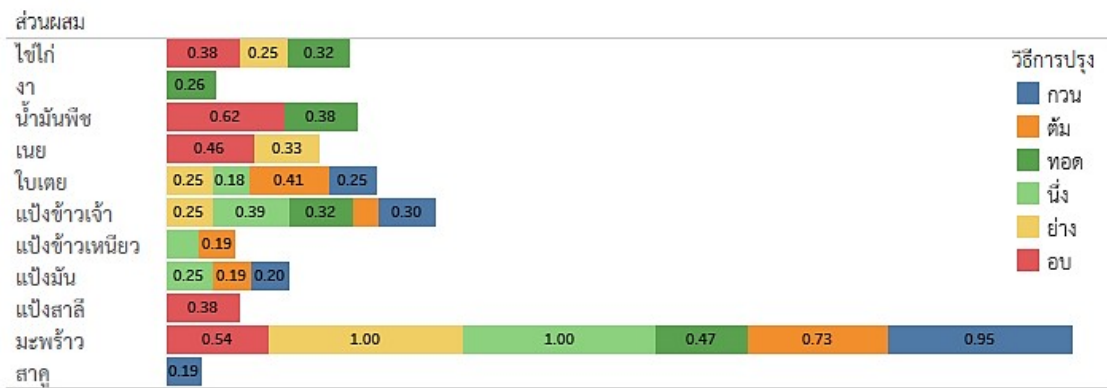
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อวิเคราะห์ส่วนผสมเฉลี่ยต่อสูตรจากชุดข้อมูลอาหารไทย ซึ่งประกอบไปด้วยอาหารคาว 1,734 สูตร และอาหารหวาน 351 สูตร พบว่าจำนวนส่วนผสมเฉลี่ยของอาหารคาวเท่ากับ 10.95 ต่อสูตร และอาหารหวานมีส่วนผสม 7.81 ต่อสูตร การกระจายของส่วนผสมต่อสูตรในอาหารคาว และอาหารหวาน มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่พบว่าจำนวนส่วนผสมในอาหารมีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) เช่นเดียวกับอาหารในเอเชียตะวันออก เช่น อาหารจีน [6], [15]

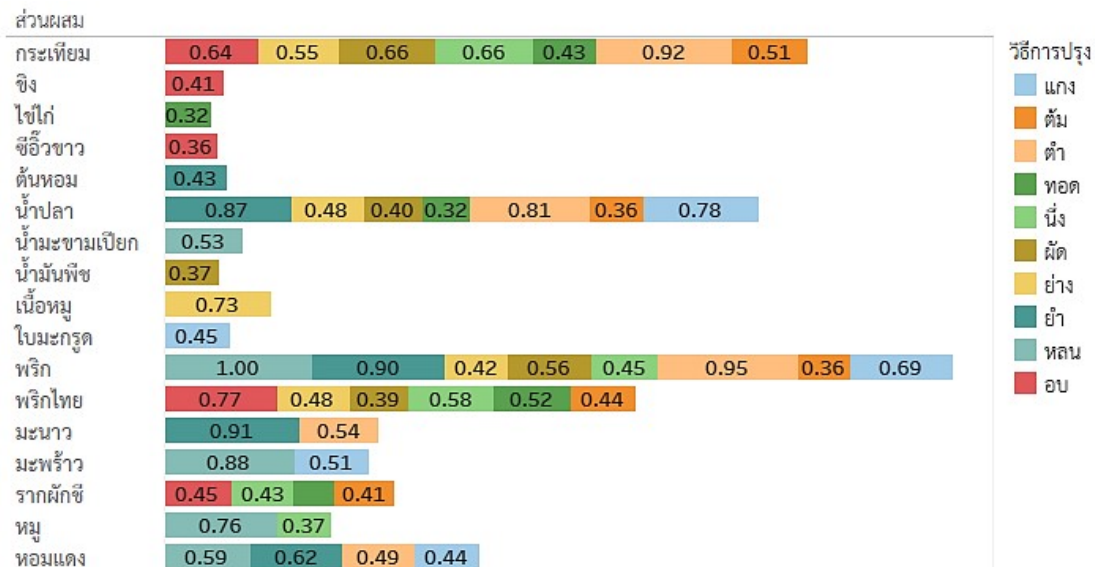
ในการวิเคราะห์รูปแบบลักษณะของการใช้ส่วนผสมตามวิธีการปรุงอาหารพบว่า ความแพร่หลายของส่วนผสมในการปรุงอาหารแต่ละประเภทแสดงได้ดังรูปที่ 3 และ 4 ลักษณะของการใช้ส่วนผสมตามวิธีการปรุงอาหารหวานแบบต่างๆ ตามรูปที่ 3 แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่ามะพร้าว เป็นส่วนผสมที่พบว่ามีค่าความแพร่หลายมากกว่า 0.45 และถูกใช้เป็นส่วนผสมในการปรุงอาหารหวานทุกประเภท สำหรับใบเตยซึ่งเป็นพืชที่มีคุณสมบัติโดดเด่นด้านกลิ่น นิยมนำมาใช้ในการประกอบอาหารที่ต้องการกลิ่นและสีนั้นจากการวิเคราะห์ลักษณะของการใช้ส่วนผสมพบว่า ใบเตยไม่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในเมนูอาหารหวานประเภททอดและอบส่วนมากจะถูกนำมาใช้ในเมนูอาหารหวานประเภทต้มเนื่องจากให้กลิ่นได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ แวตาดิจิทางดี และ สิริ ชัยเสรี [16] ที่พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดกลิ่นของใบเตยคือการให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส สำหรับความแพร่หลายของส่วนผสมในการปรุงอาหารคาวตามรูปที่ 4 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าพริกเป็นส่วนผสมที่มีค่าความแพร่หลายมากกว่า 0.90 ในวิธีการปรุงแบบ หลน ยำ และตำ นอกจากนี้พริกยังพบว่าเป็นส่วนผสมที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการปรุงอาหารเกือบทุกประเภทยกเว้นการปรุงอาหารแบบอบและทอด สำหรับมะนาวจะเห็นว่าถูกใช้เป็นส่วนผสมหลักในรายการอาหารประเภทตำและยำ



รูปที่ 2. จำนวนส่วนผสมต่อสูตร



รูปที่ 3. ความแพร่หลายของส่วนผสมที่พบมากที่สุด 5 ลำดับแรกในการปรุงอาหารหวานแต่ละประเภท



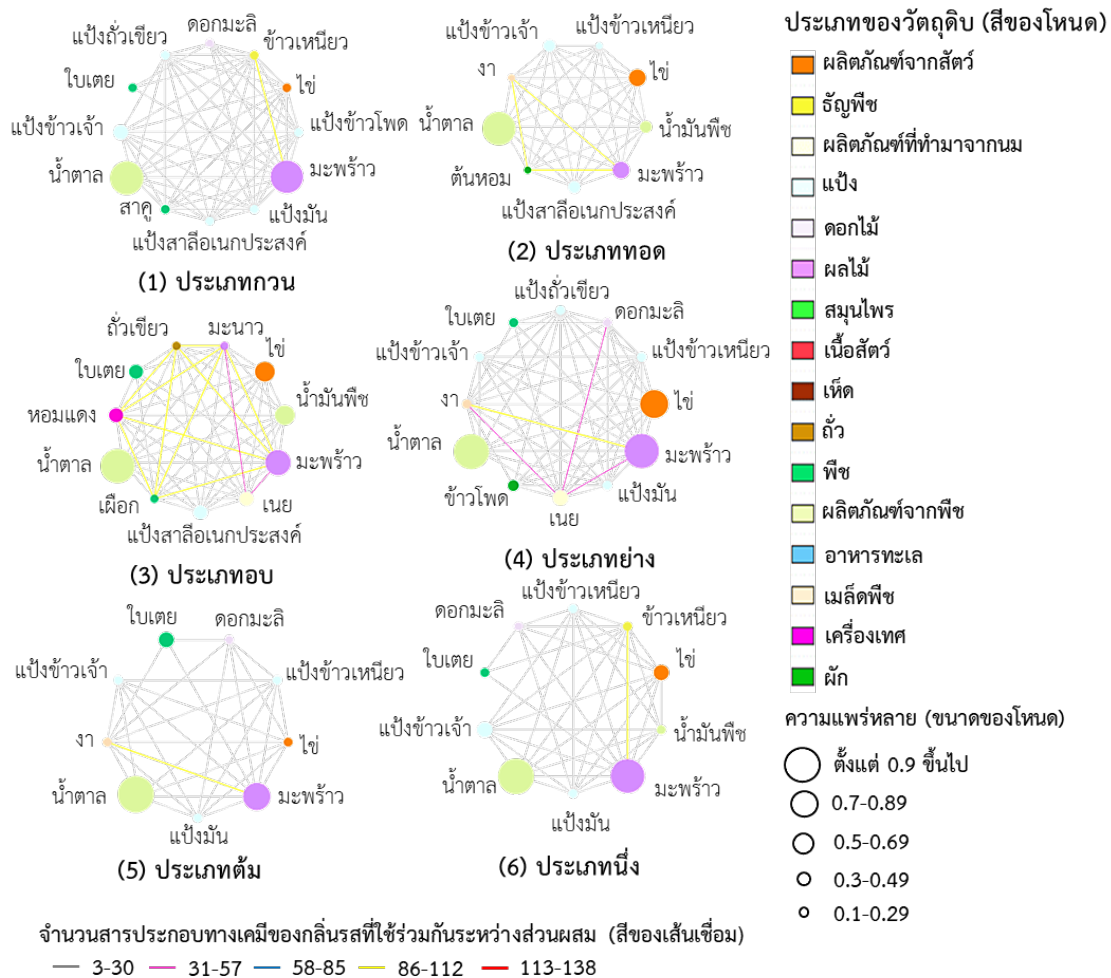
รูปที่ 4. ความแพร่หลายของส่วนผสมที่พบมากที่สุด 5 ลำดับแรกในการปรุงอาหารคาวแต่ละประเภท

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมและสารประกอบกลิ่นรสที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในอาหารด้วยการใช้เครือข่ายกลิ่นรส ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการใช้ส่วนผสมตามวิธีการปรุงอาหารแบบต่างๆ ในรูปแบบของกราฟ โดยที่ขนาดของโหนดจะแสดงให้เห็นถึงความแพร่หลายของส่วนผสม ถ้าส่วนผสมนั้นมีค่าความแพร่หลายสูงขนาดของโหนดก็จะมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ในส่วนสีของเส้นเชื่อมนี้จะแสดงถึงจำนวนของสารประกอบทางเคมีของกลิ่นรสที่ใช้ร่วมกันระหว่างส่วนผสม และสีของโหนดจะแสดงหมวดหมู่ของส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 ซึ่งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นถึงเครือข่ายกลิ่นรสของส่วนผสมในการปรุงอาหารไทย ที่มีค่าสำคัญของความแพร่หลายของส่วนผสมที่มากกว่าเท่ากับ 0.10

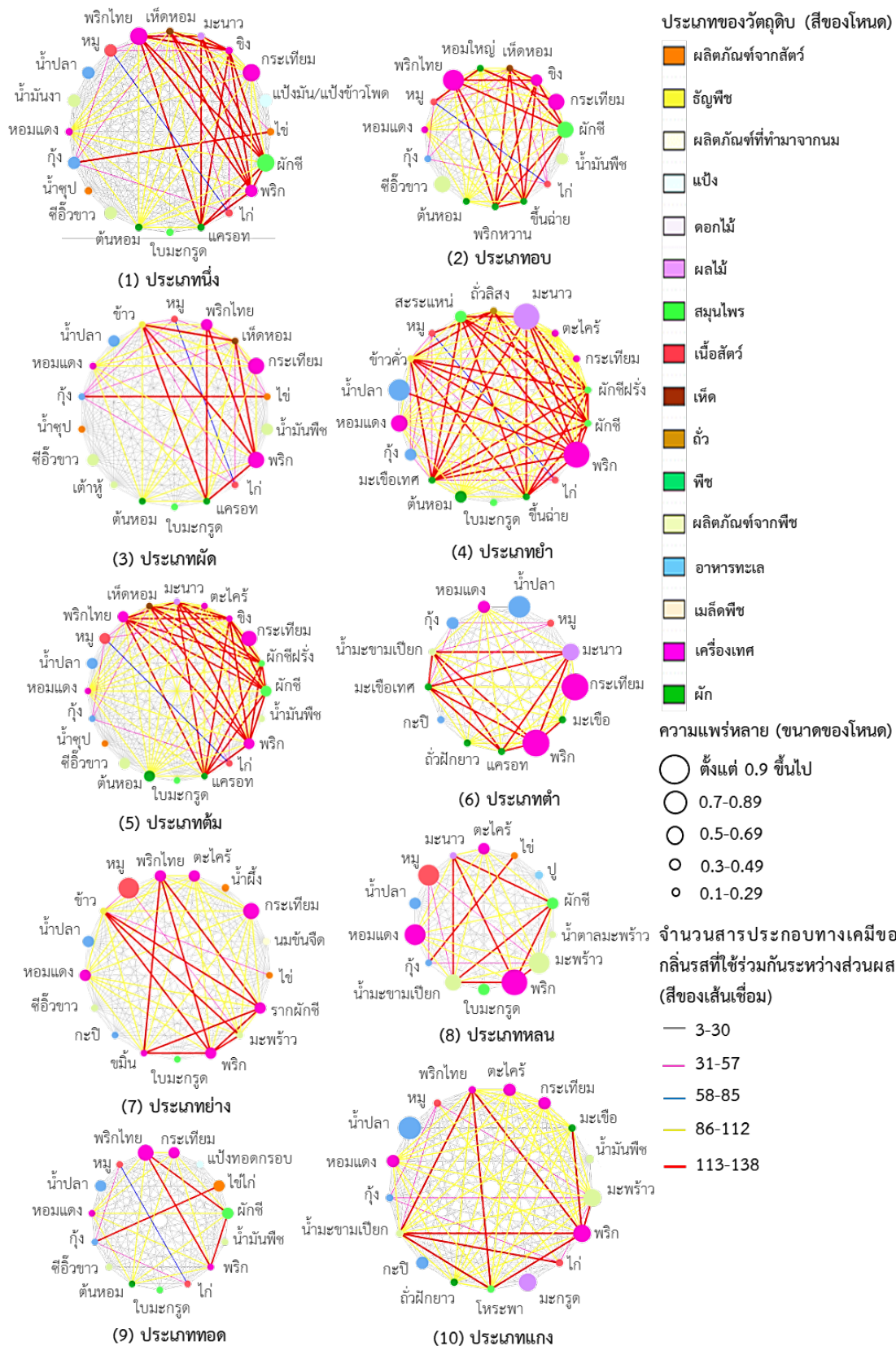
ในรูปที่ 5 และ 6 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมและสารประกอบกลิ่นรสของอาหารคาวและอาหารหวานมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาเครือข่ายกลิ่นรสในส่วนประกอบของสูตรอาหารพบว่าส่วนผสมที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอาหารคาวมักจะมี การแชร์กลิ่นรสร่วมกันเป็นจำนวนมากซึ่งตรงกันข้ามกับอาหารหวานจากรูปที่ 5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เครือข่ายกลิ่นรสของอาหารหวานในการปรุงแต่ละประเภทไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากส่วนผสมที่พบมีการแชร์กลิ่นรสร่วมกันน้อย โดยมีน้ำตาลกับมะพร้าวเป็นส่วนผสมหลักในสูตรอาหารซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนจากความแพร่หลายที่มีค่าอยู่ในระดับสูง เมื่อพิจารณาเครือข่ายกลิ่นรสของอาหารคาวในรูปที่ 6 จะเห็นว่าอาหารประเภทขามีการใช้ส่วนผสมที่มีการแชร์กลิ่นรสกันมาก รองลงมาคืออาหารประเภทต้ม และอาหารที่มีการแชร์กลิ่นรสของส่วนผสมน้อยที่สุดคืออาหาร ประเภททอด นอกจากนี้ส่วนผสมที่อยู่ในกลุ่มของเครื่องเทศยังเป็นองค์ประกอบหลักในอาหารคาว และมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดกลิ่นรสในอาหาร

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เครือข่ายส่วนผสมและกลิ่นรสในอาหารไทย เพื่อศึกษาลักษณะของอาหาร ความแพร่หลายของส่วนผสม รูปแบบลักษณะของการใช้ส่วนผสมตามวิธีการปรุงอาหาร และความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมและสารประกอบกลิ่นรสในอาหารหวานและอาหารคาวตามวิธีการปรุงแต่ละประเภท จากการวิจัยพบว่าเครือข่ายกลิ่นรสของอาหารคาวและอาหารหวานมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน และส่วนผสมที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายมักจะมี การแชร์กลิ่นรสร่วมกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความถี่ของการใช้ส่วนผสมนั้นแสดงให้เห็นรูปแบบของการทำอาหารที่สอดคล้องกับรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของอาหารแต่ละประเภท นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมและกลิ่นรสในอาหารยังมีความเกี่ยวข้องกับหลายๆ ปัจจัย เช่น ประเภทของอาหาร วิธีการปรุงอาหาร และประเภทของส่วนผสม การวิเคราะห์เครือข่ายส่วนผสมและสารปรุงแต่งกลิ่นรสในงานวิจัยนี้ถือได้ว่าเป็นก้าวแรกของการวิเคราะห์ข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์การอาหาร ซึ่งหลักการของเครือข่ายกลิ่นรสเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานในการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมอาหารด้านกลิ่นรส ที่จะช่วยในการสร้างกลิ่นรส หรือสูตรอาหารใหม่ ที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์อาหารอันจะเป็นนวัตกรรมใหม่ๆ ต่อไป



รูปที่ 5. เครือข่ายกลีเซอรอลของอาหารหวาน (สร้างโดยใช้ Circular Layout Algorithm [17])



รูปที่ 6. เครือข่ายกลิ่นรสของอาหารคาว (สร้างโดยใช้ Circular Layout Algorithm [17])

เอกสารอ้างอิง

- [1] กอบแก้ว นางพินิจ, *อาหารไทย โครงการตำราวิชาการ ราชภัฏเฉลิมพระเกียรติ*, กรุงเทพฯ: เสมาธรรม, 2542.
- [2] อรไท สวัสดิชัยกุล, “ชีวเคมีของพริก ตอนที่ 2 ว่าด้วยเรื่องของกลิ่น,” *วารสารอาหาร*, ปีที่ 46, ฉบับที่ 1, หน้า 21-26, มกราคม-มีนาคม 2559. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: https://kukr2.lib.ku.ac.th/kukr_es/bkn/search_detail/download_digital_file/20010323/159215. [เข้าถึงเมื่อ 3 มีนาคม 2565].
- [3] กาญจนา มัทธนที, “ความสำคัญของกลิ่นรสอาหารกับการตรวจวิเคราะห์กลิ่นอาหารโดยเทคนิค Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O),” *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, หน้า 13-17, มิถุนายน 2552-พฤษภาคม 2553. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/JFTSU/article/download/38385/31804>. [เข้าถึงเมื่อ 3 มีนาคม 2565].
- [4] นิธิชา รัตนพานนท์, *เคมีอาหารเบื้องต้น*, กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2563.
- [5] รัชณี ดันตะพานิชกุล, *เคมีอาหาร*, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2547.
- [6] Y. Y. Ahn, S. E. Ahnert, J. P. Bagrow, and A. L. Barabási, “Flavor network and the principles of food pairing,” *Sci Rep*, vol. 1, no. 1, pp. 1-7, Dec. 2011, doi: 10.1038/srep00196
- [7] V. Nedovic, “Learning recipe ingredient space using generative probabilistic models,” *Proceedings of the 2nd Workshop Cooking with Computers*, Beijing, China, August 3-5, 2013, pp. 11-16
- [8] J. Jermurawong, and N. Habash, “Predicting the Structure of Cooking Recipes,” in *Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, Lisbon, Portugal, Sep. 17-21, 2015, pp. 781–786.
- [9] A. Jain, R. N K and G. Bagler, “Analysis of Food Pairing in Regional Cuisines of India,” *PloS one*, vol. 10, no. 10, pp. 1-17, Oct. 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0139539.
- [10] B. Khan, “Application of pattern mining on data of flavor molecules, their percepts and molecular features,” Ph.D. dissertation, Delhi: Indraprastha Institute of Information Technology Delhi, 2018
- [11] “Recipe,” FoodTravel.tv [Online]. <http://www.foodtravel.tv>. (Accessed: Jan. 15, 2022)
- [12] N. Garg, et al., “FlavorDB: a database of flavor molecules,” *Nucleic acids research*, vol. 46, no. D1, pp. D1210–D1216, Oct. 2017, doi: 10.1093/nar/gkx957
- [13] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, “เรื่องนำรู้ของกลิ่นรสในอาหารและเครื่องดื่ม,” *ข่าววิทยาศาสตร์บริการ*, มกราคม 2528. [ออนไลน์], เข้าถึงได้: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2528_107.pdf. [เข้าถึงเมื่อ 23 มีนาคม 2565].
- [14] วันดี ณ สงขลา และวิบูลเพ็ญ ชัยปานิ, “วิธีปรุงอาหารไทย,” *สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ*, มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช, [ออนไลน์], 2532. เข้าถึงได้: <https://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=13&chap=8&page=chap8.htm>. [เข้าถึงเมื่อ 23 มีนาคม 2565].
- [15] Y. X. Zhu, J. Huang, Z. K. Zhang, Q. M. Zhang, T. Zhou and Y. Y. Ahn, “Geography and similarity of regional cuisines in China,” *PloS one*, vol. 8, no. 11, Nov. 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0079161
- [16] แววดา ชีตางดี และ สิริ ชัยเสรี. “ผลของอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อปริมาณสารระเหยในใบเตย.” ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42*, กรุงเทพฯ, 3-6 ก.พ. 2547, สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, 2547. หน้า 542-549.
- [17] P. Shannon, et al., “Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks,” *Genome research*, vol. 13, no. 11, pp. 2498–2504, Nov. 2003, doi: 10.1101/gr.1239303



โปรโตคอลความมั่นคงปลอดภัยการพิสูจน์ทราบตัวจริงสำหรับเครือข่ายไร้สาย

บริเวณร่างกายกับบล็อกเชน

Security Protocol to Verify Authentication for Wireless Body Area Networks with Blockchain

แบงค์ สันติวสุธา, วสุพล ไชยสง่าศิลป์, สันชาติ ไพสิทธิ์, ชาลี ธรรมรัตน์* และ วาทีญญู ยอดทอง

Bank Santivasuta, Wasupol Chaisangasilp, Sanchat Phaisit, Chalee Thammarat* and Watanyou Yodthong

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Faculty of Engineering and Technology, Mahanakorn University of Technology

Received: June 04, 2022; Revised: December 12, 2022; Accepted: December 13, 2022; Published: December 30, 2022

ABSTRACT – The advancement of wireless communication, Wireless Body Area Network (WBAN) has gained a lot of attention with the development of compact sensors Medical information is very sensitive. If any physiological information is tampered with or intercepted. It may affect the diagnosis or the patient's privacy. Security in WBAN is still important. Therefore, it is important to verify the authentication of each other's sending and receiving data between the sensor node and the server to protect patient information from malicious people, and for the privacy of patients. This research presents a protocol for secure authentication between sensor node and server nodes connected to the patient's body. We use the hash function and symmetric encryption to make the lightweight protocol. In addition, the security analysis and the integration of blockchain technology, it shows that the model in the research presented is consistent with the necessary safety features make the protocol efficient.

KEYWORDS: Authentication, Wireless Body Area Network, WBAN, Security Protocol

บทคัดย่อ -- ความก้าวหน้าของการสื่อสารไร้สาย Wireless Body Area Network (WBAN) ได้รับความสนใจอย่างมากจากการพัฒนาเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก ข้อความทางการแพทย์มีความละเอียดอ่อน ถ้ามีการดัดแปลงหรือดักฟังข้อความทางสรีรวิทยาใด ๆ อาจส่งผลต่อการวินิจฉัยหรือความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วย การรักษาความปลอดภัยใน WBAN ยังคงเป็นเรื่องที่สำคัญ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะตรวจสอบการพิสูจน์ทราบตัวจริงของการส่งและรับข้อความซึ่งกันและกันระหว่างเซ็นเซอร์โหนดและเซิร์ฟเวอร์ เพื่อปกป้องข้อความของผู้ป่วยจากผู้ไม่หวังดีและเพื่อความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วย งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอโปรโตคอลสำหรับการพิสูจน์ทราบตัวจริงที่ปลอดภัยระหว่างเซ็นเซอร์โหนดและเซิร์ฟเวอร์ โหนดที่เชื่อมต่อกับร่างกายของผู้ป่วย ฟังก์ชันแฮชและการเข้ารหัสลับแบบสมมาตรถูกนำมาใช้งาน ทำให้โปรโตคอลมีน้ำหนักเบา นอกจากนี้การวิเคราะห์ความปลอดภัยและการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ร่วมกัน ทำให้เห็นว่รูปแบบในงานวิจัยที่นำเสนอ นั้นสอดคล้องกับคุณสมบัติความปลอดภัยที่จำเป็นและทำให้โปรโตคอลมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การพิสูจน์ทราบตัวจริง, Wireless Body Area Network, WBAN, โปรโตคอลความมั่นคงปลอดภัย

*Corresponding Author: chalee23@gmail.com

1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีล่าสุดใน Wireless Body Area Network (WBAN) [1] ร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร Information and Communication Technology (ICT) WBAN เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการตรวจสอบสุขภาพของผู้ป่วยจากระยะไกลและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเซ็นเซอร์ประกอบด้วยเครือข่ายไร้สายขนาดเล็กที่มีอุปกรณ์ขนาดเล็กหลายอย่าง เช่น ปุ่มเซ็นเซอร์และตัวกระตุ้น ปุ่มเซ็นเซอร์จะถูกวางไว้โดยตรงบนร่างกายหรือใต้ผิวหนังของบุคคลเพื่อคำนวณลักษณะของร่างกาย เช่น การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ Electrocardiogram (ECG), การตรวจคลื่นสมองไฟฟ้า Electroencephalography (EEG), การเคลื่อนไหวของร่างกาย, อุณหภูมิ, ความดันโลหิต, ระดับน้ำตาลในเลือด, การตรวจโมเลกุลสารโดยใช้แสง, อัตราการเต้นของหัวใจ, ระดับอัตราการหายใจ และส่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมข้อมูลหลังการประมวลผลไปยังฐานข้อมูลเพื่อที่จะวิเคราะห์และประมวลผลต่อไป ขั้นตอนการเข้ารหัสช่วยรักษาข้อมูลไม่ให้ถูกเปลี่ยนโดยผู้ไม่หวังดีได้ [2, 4] เทคโนโลยีนี้ช่วยให้การตรวจสอบสุขภาพและการดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุรวมถึงผู้พิการเพื่อให้พวกเขาอาศัยอยู่อย่างสบายและปลอดภัยในบ้านของพวกเขาเพื่อลดการรักษาในโรงพยาบาล และลดจำนวนการเข้ารับการรักษาจำนวนมากในโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมจำกัด และการเคลื่อนไหวสุขภาพต่อเนื่อง [3]

บทความวิจัยนี้มีองค์ประกอบในการนำเสนอ ดังนี้ บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 งานวิจัยที่นำเสนอ บทที่ 4 การวิเคราะห์ความปลอดภัย และบทที่ 5 บทสรุปและการอภิปราย

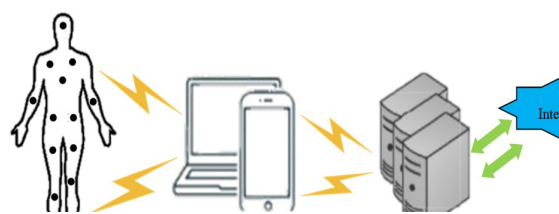
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Wireless Body Area Network [1] เป็นการพัฒนาการแนวคิดเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล และเครือข่ายไร้สายกับจุดที่อยู่ตามร่างกายหรือบริเวณใกล้เคียง ความก้าวหน้าของการสื่อสารและเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ขนาดเล็กที่รัดและอัจฉริยะที่สามารถถูกวางไว้บนร่างกายของมนุษย์หรือฝังอยู่ภายในร่างกาย ในอนาคต WBAN จะมีการประมวลผลที่สูงและมีความซับซ้อนที่จะให้ฟังก์ชันของการ

คำนวณที่มีประสิทธิภาพเพื่อรองรับสำหรับการทำงานที่สูงขึ้นเมื่อความต้องการมากขึ้นจึงได้นำไปสู่การวิจัยและการพัฒนาที่เพิ่มขึ้น

แนวคิดของเครือข่ายไร้สายบริเวณร่างกายเริ่มต้นเพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์ สำหรับการจับเก็บและบันทึกข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยเซ็นเซอร์ที่มีอยู่ตามจุดต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์สำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการและส่งสัญญาณในร่างกาย เช่น ความดันโลหิต สัญญาณการเต้นของหัวใจ ระดับน้ำตาล และอุณหภูมิ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลหรือสัญญาณคำสั่งไปยังเซ็นเซอร์ตามจุดต่าง ๆ ของร่างกาย เพื่อที่จะให้คำแนะนำตามคำสั่งที่ต้องการ WBAN สามารถการตรวจสอบสุขภาพได้ระยะยาวไม่จำกัดจำนวนครั้งในแต่ละวัน ระบบดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบการตรวจสอบสุขภาพได้ดีและราคาไม่แพง ซึ่งสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งของการวินิจฉัยโรคได้ ในอนาคตระบบจะสามารถตรวจผู้สูงอายุและผู้ป่วยเรื้อรังได้จากระยะไกล โดยที่ผู้ป่วยอาศัยอยู่บ้านของตนเอง ไม่ต้องมารับการตรวจที่โรงพยาบาล [2] แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. Wireless Body Area Network

บล็อกเชน (Blockchain) เป็นเทคโนโลยีที่จะมาเปลี่ยนวิธีการทำธุรกรรมทุกชนิด และเป็นแพลตฟอร์มในการทำธุรกรรมแบบ Peer-to-Peer ที่มีการบันทึกข้อมูลรายการธุรกรรมทั้งหมดแบบกระจายศูนย์ โดยทุกคนจะรับทราบร่วมกัน ว่าใครเป็นเจ้าของและมีสิทธิในข้อมูลความจริง เมื่อมีการเพิ่มข้อมูล ก็จะอัปเดตตามไปด้วยทันที ซึ่ง Blockchain ได้ถูกการพัฒนาเป็นครั้งแรกในภาคการเงิน เพื่อใช้เป็นเทคโนโลยีแพลตฟอร์มของระบบ (Decentralized) เงินดิจิทัล (Cryptocurrency) ดังนั้น Block chain จึงเป็นระบบที่มีความมั่นคงปลอดภัยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง จึงทำให้เทคโนโลยี

Blockchain เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเอาชนะการรักษาความมั่นคงแบบเก่าได้ด้วยธรรมชาติของเทคโนโลยีที่มีรูปแบบการเก็บข้อความแบบกระจาย และมีการตรวจสอบซึ่งกันและกัน [12]

เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain) เป็นจุดสนใจในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ปัจจุบันเทคโนโลยีบล็อกเชนได้ถูกนำมาใช้กับแอปพลิเคชัน Internet of Things (IoT) ต่าง ๆ เช่น การดูแลสุขภาพ, การผลิต, การขนส่ง ซึ่งรูปแบบการสื่อสารที่สมบูรณ์ของ WBAN ประกอบด้วย ผู้ป่วย ผู้ให้บริการเครือข่าย ผู้ให้บริการด้านสุขภาพ หน่วยแพทย์ฉุกเฉิน แพทย์ พยาบาล และอื่น ๆ ดังนั้นข้อความทางสรีรวิทยาจากการตรวจติดตามผู้ป่วยจึงต้องการการเข้าถึงจากหลายแหล่ง [10] การเผยแพร่ข้อความหรือการเข้าถึงข้อความในช่วงเวลาต่าง ๆ ของกระบวนการวินิจฉัย ถือได้ว่าเป็นบล็อกของการทำธุรกรรมในบริบทของเทคโนโลยีบล็อกเชน เทคโนโลยีบล็อกเชนถูกนำมาใช้เพื่อรักษาความปลอดภัยข้อความโดยเกี่ยวข้องกับเซนเซอร์ของค่าแฮชเพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสลับ ในทางกลับกัน ลายเซ็นดิจิทัลถูกใช้เพื่อเป็นตัวตรวจสอบ ซึ่งหมายความว่าช่วยให้มั่นใจได้ว่าข้อความสามารถเข้าถึงได้เฉพาะผู้ดูแลระบบ [11]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Monalisha Polai และคณะ [5] นำเสนอเครือข่ายที่ถูกนำมาใช้ทางด้านการบริการทางการแพทย์แก่ผู้ป่วยในสภาพแวดล้อมที่มีทรัพยากรจำกัดและสถานที่ห่างไกล การพิสูจน์ทราบตัวจริงแบบไม่ระบุชื่อและการยกเลิกการเชื่อมโยงของข้อความเป็นบริการที่จำเป็นสำหรับ WBAN ทั้งที่เป็นการโจมตีอย่างเป็นทางการและไม่เป็นทางการ ที่ได้รับการวิเคราะห์ตรวจสอบของงานที่นำเสนอและพบว่าป้องกันต่อการโจมตีแบบ Active และ Passive ได้

MyeongHyun Kim และคณะ [6] นำเสนอการพิสูจน์ทราบตัวจริงผู้ใช้และเซชันคีย์ที่ไม่ระบุชื่อที่มีน้ำหนักเบา การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับสวมใส่ ตามแบบแผนไม่สามารถป้องกันการแอบอ้างเป็นผู้ใช้ การเปิดเผยเซชันคีย์และการโจมตีที่ถูกขโมยอุปกรณ์สวมใส่ได้ นอกจากนี้ยังเสนอพิสูจน์ทราบตัวจริงผู้ใช้ร่วมกันที่มีความปลอดภัย น้ำหนักเบาและรูปแบบการสร้างเซชันคีย์โดยใช้อุปกรณ์สวมใส่เพื่อแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องด้าน

ความปลอดภัยที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่จำกัดทรัพยากรได้

Kakali Chatterjee [7] นำเสนอ WBAN เป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับการใช้งานด้านการดูแลสุขภาพสมัยใหม่ เครือข่ายแบบไร้สายบริเวณร่างกายประกอบด้วยเซ็นเซอร์สวมใส่ขนาดเล็กซึ่งฝังอยู่ในร่างกายมนุษย์ เพื่อเก็บข้อความทางการแพทย์และส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ทางการแพทย์ผ่านตัวเชื่อมต่อเครือข่ายไปยังฐานข้อความ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดด้านความปลอดภัย ที่ต้องได้รับการป้องกันระหว่างการเชื่อมต่อ จึงเสนอโพรโตคอลการพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกันที่ความมั่นคงปลอดภัย ซึ่งอิงจากการเข้ารหัสลับคีย์สาธารณะเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยทั้งหมด การพิสูจน์ทราบตัวจริงจะป้องกันการโจมตีที่มีช่องโหว่ที่สำคัญในเครือข่ายเซ็นเซอร์ร่างกายไร้สายที่มีการคำนวณและการสื่อสารต่ำได้

Kamal Parvez และคณะ [8] นำเสนอ WBAN เป็นระบบการดูแลสุขภาพที่ใช้ IoT มีความสำคัญในการช่วยปรับปรุงบริการทางการแพทย์ โดยการเปิดใช้งานการตรวจสอบสุขภาพของผู้ป่วยจากระยะไกล เนื่องจาก WBAN จัดการข้อความด้านสุขภาพที่ละเอียดอ่อน ปัญหาด้านความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว มีความสำคัญสูงสุดที่ต้องได้รับการป้องกัน จึงเสนอโพรโตคอลและการพิสูจน์ทราบตัวจริงผู้ใช้ที่มีน้ำหนักเบา ข้อตกลงเซชันคีย์ระหว่างเซ็นเซอร์โหนดและผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ ซึ่งรูปแบบการสื่อสารทั้งสองแบบ ต้องได้รับความปลอดภัย จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความปลอดภัยเสมอ

Bander A. Alzahrani [9] เสนอโพรโตคอลที่ใช้ Telecare Medical Information System (TMIS) ที่มีประสิทธิภาพและมีความมั่นคงปลอดภัย โดยใช้การทำงานของเซชันคีย์แบบสมมาตรน้ำหนักเบา โมเดลที่นำเสนอได้รับการพิสูจน์โดยการวิเคราะห์ความปลอดภัย ได้รับการตรวจสอบภายใต้เครื่องมือ ProVerif แบบอัตโนมัติ ความมั่นคงปลอดภัยโดยเฉลี่ยมากกว่า 38%

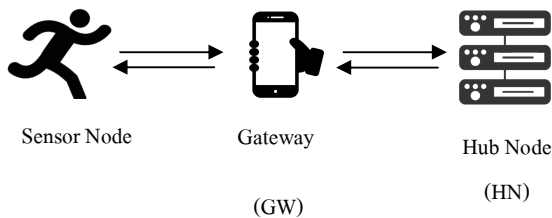
Gajala Praveen และคณะ [10] นำเสนอ Blockchain รักษาความปลอดภัยข้อความด้านสุขภาพที่มีความสำคัญ จุดมุ่งหมายของการศึกษานี้คือ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับแอปพลิเคชันด้านการดูแลสุขภาพด้วยบล็อกเชน ซึ่งกล่าวถึงการจัดการข้อความทางการแพทย์ รวมถึงการแบ่งปันข้อความทางการแพทย์ การแบ่งปันรูปภาพ และการจัดการบันทึก การตรวจสอบยาตามการจัดส่งในมุมมองการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว

บทความนี้วิเคราะห์และเปรียบเทียบเอกสารการวิจัยในด้านการแพทย์ และสรุปที่ใช้ในการดูแลสุขภาพด้วยข้อดีและข้อเสีย

Luun Xiao และคณะ [11] นำเสนอแบบจำลองในสถาปัตยกรรม Wireless Body Sensor Network ที่ใช้เทคโนโลยี Blockchain ซึ่งโพรโตคอลการพิสูจน์ทราบตัวจริงและโพรโตคอลไม่ปรากฏการลงชื่อระหว่างโหนดที่ได้รับการออกแบบในรูปแบบ WBAN ทำให้ระบบส่งข้อความ Blockchain ในเครือข่ายไร้สาย สภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและเชื่อถือได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอมิแนวโน้มที่ดีและแสดงระดับความปลอดภัยและความมั่นคงที่สูงกว่าวิธีอื่น ๆ

3. งานวิจัยที่นำเสนอ

งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอโพรโตคอลสำหรับการพิสูจน์ทราบตัวจริงและการส่งข้อความผ่านเครือข่าย ที่มีความมั่นคงปลอดภัย ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนการลงทะเบียนและขั้นตอนการพิสูจน์ทราบตัวจริง สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยจะมีการส่งข้อมูลเพื่อพิสูจน์ทราบตัวจริงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. โครงสร้างเครือข่าย Wireless Body Area Network การพิสูจน์ทราบตัวจริง

รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างเครือข่าย Wireless Body Area Network การพิสูจน์ทราบตัวจริง โดยทั่วไปเซ็นเซอร์โหนด (SN) ที่เชื่อมต่อกับร่างกายมนุษย์จะรวบรวมข้อความเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของร่างกาย และส่งข้อความไปยังที่เก็บข้อความบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (HN) ผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อ (GW) ที่อยู่ใกล้เคียง

ตารางที่ 1. แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

สัญลักษณ์	รายละเอียด
HN	ผู้ให้บริการคลาวด์เซิร์ฟเวอร์/เซิร์ฟเวอร์
GW	อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเน็ตเวิร์ค
SN	เซ็นเซอร์โหนด
MK_{A-B}	มาสเตอร์คีย์ใช้ร่วมกันระหว่าง A กับ B
SI	ซิลิคอนไอดี
ID_A	ระบุตัวตนของ A
$H(.)$	ฟังก์ชันแฮช
SK_{A-B}	การเข้ารหัสลับแบบสมมาตรเซสชันคีย์ใช้ร่วมกันระหว่าง A กับ B
R	ค่านอนซ์ (Nonce)
T	การประทับเวลา (Timestamp)
$E\{.\}$	ดำเนินการเข้ารหัสลับ

3.1 ขั้นตอนการลงทะเบียน

ขั้นตอนนี้ SN และ GW ทำหน้าที่ลงทะเบียนกับ HN โดยดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการลงทะเบียนสำหรับ SN โดยที่ SN ทำการส่ง SI_{SN} ไปยัง HN เพื่อทำการลงทะเบียน จากนั้น HN ทำการส่ง ID_{SN} และ MK_{SN-HN} กลับเพื่อยืนยันการลงทะเบียนสำเร็จ ดำเนินการผ่านช่องทางที่มีความมั่นคงปลอดภัยเช่น Secure Socket Layer (SSL) หรือ Wireless Transport Layer Security (WTLS)
2. ขั้นตอนการลงทะเบียนสำหรับ GW โดยที่ GW ทำการส่ง SI_{GW} ไปยัง HN เพื่อทำการลงทะเบียน จากนั้น HN ทำการส่ง ID_{GW} และ MK_{GW-HN} กลับเพื่อยืนยันการลงทะเบียนสำเร็จ ดำเนินการผ่านช่องทางที่มีความมั่นคงปลอดภัยเช่น SSL หรือ WTLS

3.2 ขั้นตอนการพิสูจน์ทราบตัวจริง

ขั้นตอนนี้ การพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกันระหว่างเซ็นเซอร์ โหนดและเซิร์ฟเวอร์ โดยที่เซ็นเซอร์โหนดจะส่งข้อความผ่านเกตเวย์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ เกตเวย์และเซ็นเซอร์โหนดจะกำหนดเซสชันคีย์เฉพาะขึ้นเพื่อรับพารามิเตอร์ของร่างกายที่ละเอียดอ่อนจากผู้ป่วย ตามขั้นตอนต่อไปนี้

M1: SN → GW: $ID_{SN}, T1, H(ID_{SN}, SI_{SN}, T1, MK_{SN-HN})$

M2: GW → HN: $ID_{SN}, ID_{GW}, T1, T2, H(ID_{SN}, SI_{SN}, T1, MK_{SN-HN}), H(T2, H(ID_{SN}, SI_{SN}, T1, MK_{SN-HN}), MK_{GW-HN})$

M3: HN → GW: $T3, EMK_{GW-HN}\{ID_{SN}, ID_{GW}, T2, T3, R1\}, EMK_{SN-HN}\{ID_{SN}, ID_{GW}, T1, T3, R1\}$

M4: GW → SN: $ID_{GW}, T3, T4, H(ID_{SN}, ID_{GW}, T3, T4, SK), EMK_{SN-HN}\{ID_{SN}, ID_{GW}, T1, T3, R1\}$

M5: SN → GW: $T5, H(ID_{SN}, ID_{GW}, T3, T4, T5, SK)$

$SK = H(ID_{SN}, ID_{GW}, T3, R1)$

M1: SN ดำเนินการประทับเวลา T1 แล้วส่งข้อความเพื่อพิสูจน์ทราบตัวจริงกับ HN โดยจะส่งข้อความผ่าน GW โดยส่ง $ID_{SN}, T1, H(ID_{SN}, SI_{SN}, T1, MK_{SN-HN})$ ไปยัง GW

M2: เมื่อ GW ได้รับข้อความจาก SN จะทำการประทับเวลา T2 และตรวจสอบ $T1' - T1 \leq \Delta T$ เพื่อยืนยันว่าได้รับข้อความภายในเวลาที่กำหนด ถ้าไม่ใช้จะยกเลิกการติดต่อสื่อสารทันที จากนั้น GW จะสร้าง $H(ID_{SN}, SI_{SN}, ID_{GW}, SI_{GW}, T2, MK_{GW-HN})$ แล้วส่ง $ID_{SN}, ID_{GW}, T, T, H(ID_{SN}, SI_{SN}, T1, MK_{SN-HN}), H(T2, H(ID_{SN}, SI_{SN}, T1, MK_{SN-HN}), MK_{GW-HN})$ ไปยัง HN เมื่อ T1' คือเวลาที่ GW ได้รับข้อความ

M3: เมื่อ HN ได้รับข้อความจะทำการประทับเวลา T3 และตรวจสอบ $T2' - T2 \leq \Delta T$ เพื่อยืนยันว่าได้รับข้อความภายในเวลาที่กำหนด ถ้าไม่ใช้จะยกเลิกการติดต่อสื่อสารทันที จากนั้น HN จะทำการถอดข้อความที่ได้รับ ด้วยมาสเตอร์คีย์ใช้ร่วมกัน และ HN จะเข้ารหัสลับข้อความที่ส่งกลับไปยัง GW และ SN เพื่อรับการพิสูจน์ทราบตัวจริง โดยจะส่ง $T3, EMK_{GW-HN}\{ID_{SN}, ID_{GW}, T2, T3, R1\}, EMK_{SN-HN}\{ID_{SN}, ID_{GW}, T1, T3, R1\}$ ไปยัง GW เมื่อ T2' คือเวลาที่ HN ได้รับข้อความ

M4: เมื่อ GW ได้รับข้อความจะทำการประทับเวลา T4 และตรวจสอบ $T3' - T3 \leq \Delta T$ เพื่อยืนยันว่าได้รับข้อความภายในเวลาที่กำหนด ถ้าไม่ใช้จะยกเลิกการติดต่อสื่อสารทันที และทำการถอดรหัสลับข้อความด้วยมาสเตอร์คีย์ที่ใช้ร่วมกันระหว่าง GW และ HN จากนั้นจะส่ง $ID_{GW}, T, T4, H(ID_{SN}, ID_{GW}, T3, T4, SK), EMK_{SN-HN}\{ID_{SN}, ID_{GW}, T1, T3, R1\}$ ไปยัง SN เมื่อ T3' คือเวลาที่ GW ได้รับข้อความ

M5: เมื่อ SN ได้รับข้อความจะทำการประทับเวลา T5 และตรวจสอบ $T4' - T4 \leq \Delta T$ เพื่อยืนยันว่าได้รับข้อความภายในเวลาที่กำหนด ถ้าไม่ใช้จะยกเลิกการติดต่อสื่อสารทันที และทำการถอดรหัสลับข้อความด้วยมาสเตอร์คีย์ที่ใช้ร่วมกันระหว่าง SN และ HN จากนั้นจะส่ง $T5, H(ID_{SN}, ID_{GW}, T3, T4, T5, SK)$ ไปยัง GW จะได้ $SK = H(ID_{SN}, ID_{GW}, T3, R1)$ สำหรับการเข้ารหัสลับข้อความเพื่อติดต่อสื่อสารระหว่าง SN และ GW เป็นการสิ้นสุดการพิสูจน์ทราบตัวจริงระหว่าง SN และ HN เมื่อ T4' คือเวลาที่ SN ได้รับข้อความ

3.3 การนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาผสมผสานการพิสูจน์ทราบตัวจริง

การนำเทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain) มาผสมผสานการพิสูจน์ทราบตัวจริงที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้ โดย HN เป็นคลาวด์ของ WBAN สามารถพิสูจน์การพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกันกับ SN ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากที่ HN ได้รับข้อความจาก SN แล้ว โหนดนั้นจะถูกเก็บข้อมูลในรูปแบบของบล็อกเชนส่วนตัว ข้อความแบ่งออกเป็นข้อความการลงทะเบียน โหนด และข้อความทางสรีรวิทยาของผู้ป่วย ข้อความการลงทะเบียนโหนดใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องร่วมกัน และข้อตกลงหลักระหว่าง HN และ SN ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อความทางสรีรวิทยาของผู้ป่วย รวมถึงแพทย์ พยาบาล และผู้ป่วย สามารถเข้าถึงข้อความทางสรีรวิทยาของผู้ป่วยโดยการเข้าถึง HN



รูปที่ 3. การนำล็อกเชนมาผสานกับงานวิจัย

จากรูปที่ 3 เป็นการนำระบบล็อกเชนมาใช้ร่วมกับโพรโทคอลที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้ โดย SN ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อความทางสรีรวิทยาของผู้ป่วย รวมถึงแพทย์ พยาบาล และผู้ป่วย สามารถเข้าถึงข้อความทางสรีรวิทยาของผู้ป่วย โดยส่งข้อความเพื่อพิสูจน์ทราบตัวจริงกับ HN ซึ่ง HN เป็นคลาวด์ของ WBAN สามารถพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกันกับ SN ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก มีกระบวนการเก็บข้อความในรูปแบบของบล็อกเชนส่วนตัว โดยบล็อกเชนถูกกำหนดเป็นความลับเพื่อป้องกันไม่ให้ถูกเข้าถึงข้อความโดยที่ไม่ได้รับอนุญาตและกำหนดสิทธิการเข้าถึงหรือการตรวจสอบสิทธิการเข้าถึงเพื่อให้การรับรองความถูกต้องของข้อความความเป็นส่วนตัว และความปลอดภัย สำหรับการอนุญาตและรับรองข้อความ

4. การวิเคราะห์ความปลอดภัยและประสิทธิภาพ

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ความปลอดภัยและประสิทธิภาพ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความปลอดภัยและการวิเคราะห์ความมั่นคงปลอดภัยโดยใช้ Scyther สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ความปลอดภัย

4.1.1 การโจมตีแบบ Replay Attack

ผู้โจมตีจะใช้ข้อความที่ดักจับมาได้และกระทำการส่งข้อความกลับไปอีกครั้ง งานวิจัยที่นำเสนอมีการป้องกันการโจมตีประเภทนี้ ด้วยวิธีการสร้างค่าสุ่มและตรวจสอบเวลาในการรับข้อความ

ทั้งค่าสุ่มและเวลาจะไม่นำมาใช้ซ้ำ

4.1.2 การโจมตีแบบ Impersonation Attack

ผู้โจมตีที่จะปลอมแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ถูกต้องที่มีการติดต่อสื่อสาร เพื่อต้องการรับข้อความที่เป็นความลับระหว่างอุปกรณ์ที่ถูกต้อง โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถป้องกันได้ด้วยวิธีการพิสูจน์ทราบตัวจริง โดยการใช้ฟังก์ชันแฮชร่วมกับมาสเตอร์คีย์ ซึ่งมาสเตอร์คีย์แต่ละอุปกรณ์จะไม่ซ้ำกัน ส่วนเซสชันคีย์ที่นำมาใช้งานจะถูกสร้างใหม่เมื่อถึงเวลาที่กำหนด

4.1.3 การโจมตีแบบ Man-in-the-Middle Attack

ผู้โจมตีอยู่ตรงกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ เพื่อทำการเก็บข้อความที่สื่อสารระหว่างอุปกรณ์ การโจมตีประเภทนี้ผู้โจมตีไม่สามารถกระทำสำเร็จ เนื่องจากงานวิจัยที่นำเสนอมีการรักษาความลับของข้อความในทุกข้อความของงานวิจัยที่นำเสนอ ผู้โจมตีไม่สามารถถอดข้อความและอ่านข้อความเข้าใจได้

4.1.4 การโจมตีแบบ (Forward/Backward Secrecy)

ผู้โจมตีทำการเดาเซสชันคีย์ที่ใช้เข้ารหัสลับข้อความ เพื่อใช้ในการถอดรหัสลับข้อความ ผู้โจมตีไม่สามารถทำการเดาเซสชันคีย์ได้ง่าย เนื่องจากการสร้างเซสชันคีย์ด้วยค่าแฮชของ $H(ID_{SN}, ID_{GW}, T3, R1)$ ซึ่งค่า R1 เป็นค่าสุ่ม เพิ่มความทนทานในการเดาเซสชันคีย์

4.1.5 การรักษาความลับ (Confidentiality)

ในทุกข้อความที่ติดต่อสื่อสารของงานวิจัยที่นำเสนอใช้การเข้ารหัสลับและฟังก์ชันแฮช ทำให้ผู้โจมตีไม่สามารถอ่านข้อความรู้เรื่อง

4.1.6 การพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกัน (Mutual Authentication)

งานวิจัยที่นำเสนอสามารถพิสูจน์ทราบตัวจริงของผู้ส่งข้อความและผู้รับข้อความ โดยการใช้ฟังก์ชันแฮชร่วมกับมาสเตอร์คีย์และมาสเตอร์คีย์แต่ละมาสเตอร์คีย์จะไม่ซ้ำกัน

4.1.7 การคงสภาพของข้อความ (Integrity)

งานวิจัยที่นำเสนอได้นำฟังก์ชันแฮชมาใช้งาน ทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อความได้นอกจากนี้ฟังก์ชันแฮช

ยังนำมาใช้ร่วมกับเชตชันคีย์ เพื่อพิสูจน์ทราบตัวจริงของผู้ส่งข้อความอีกด้วย

4.1.8 การโจมตีแบบ Resilient to User Masquerading Attack
ผู้โจมตีที่ปลอมแปลงเป็นอุปกรณ์การติดต่อสื่อสาร เพื่อต้องการรับข้อความที่เป็นความลับระหว่างอุปกรณ์ จะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากมีป้องกันการโจมตีที่พยายามแอบอ้างสิทธิ์สวมรอยเป็นผู้ใช้เข้ามาภายในระบบ ซึ่งมีการป้องกันด้วยวิธีการพิสูจน์ทราบตัวจริง

4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

หัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการใช้วิทยาการการเข้ารหัสลับและพลังงานที่ใช้ โดยจะเปรียบเทียบระหว่างโปรโตคอลที่นำเสนอกับงานวิจัย [5, 7, 8, 9]

ตารางที่ 2. การเปรียบเทียบวิทยาการเข้ารหัสลับ โปรโตคอลการพิสูจน์ทราบตัวจริง

Cryptographic Operation	[5]	[7]	[8]	[9]	โปรโตคอลที่นำเสนอ
Symmetric Encryption	-	4	4	4	2
Symmetric Decryption	-	4	4	4	2
Hash Function	18	8	6	16	5

จากตารางที่ 2 การดำเนินการเข้ารหัสลับ ใช้จำนวนการเข้ารหัสลับแบบสมมาตรและฟังก์ชันแฮชน้อยกว่า [5, 7, 8, 9] ดังนั้นโปรโตคอลที่นำเสนอจึงเหมาะสมสำหรับการสื่อสารผ่านไร้สาย

ตารางที่ 3. การเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงาน

	[5]	[7]	[8]	[9]	โปรโตคอลที่นำเสนอ
AES (μJ/byte)	-	9.68	4.84	4.84	2.42
SHA1 (μJ/byte)	13.68	6.08	4.56	12.16	6.84
Total	13.68	15.67	9.4	17	9.26

Symmetric Encryption (Advanced Encryption Standard (AES): 1.21 μJ), Hash Function (Secure Hash Algorithm 1 (SHA1): 0.76 μJ)

จากตารางที่ 3 แสดงการสูญเสียพลังงานในการพิสูจน์ทราบตัวจริง โปรโตคอลที่นำเสนอโดยส่วนใหญ่จะสูญเสียพลังงานให้แก่โปรโตคอลน้อยกว่าโปรโตคอล [5, 7, 8, 9] เพราะการออกแบบโปรโตคอลจะเน้นการใช้ฟังก์ชันแฮชและการเข้ารหัสลับและการเข้ารหัสลับแบบสมมาตรเท่าที่จำเป็นแต่ยังคงมีความมั่นคงปลอดภัยที่เพียงพอ พลังงานที่ใช้ในวิทยาการการเข้ารหัสลับอ้างอิงจากงานวิจัย [13, 14] ซึ่งงานวิจัยจำนวนมาก [15, 16] ใช้ในการวัดพลังงานวิทยาการการเข้ารหัสลับ

4.3 การวิเคราะห์ความมั่นคงปลอดภัยโดยใช้ Scyther

ในส่วนนี้เราจะใช้ Scyther [17] เพื่อใช้ในการตรวจสอบโปรโตคอลความมั่นคงปลอดภัยที่รู้จักกันดีและงานวิจัยจำนวนมาก [18, 19] ได้ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรโตคอลและการโจมตี

```

usertype String;
usertype TimeStamp;
usertype SessionKey;
hashfunction H;

const IDSN, SISN, IDGW, SIGW : String;
const MKSN-HN, MKGW-HN, MKSN-HN, SK :
SessionKey;

```

```

macro M1 = IDSN, T1, H(IDSN, S1SN, T1, MKSN-HN);
macro M2 = IDSN, IDGW, T1, T2, H(IDSN, S1SN, T1,
MKSN-HN), H(T2, H(IDSN, S1SN, T1, MKSN-HN),
MKGW-HN);
macro M3 = T3, {IDSN, IDGW, T2, T3, R1}MKGW-HN,
{IDSN, IDGW, T1, T3, R1}MKSN-HN;
macro M4 = IDGW, T3, T4, H(IDSN, IDGW, T3, T4, SK),
{IDSN, IDGW, T1, T3, R1}MKSN-HN;
macro M5 = T5, H(IDSN, IDGW, T3, T4, T5, SK);

protocol WBANAUTHE(SN, GW, HN)
{
  role SN
  {
    fresh T1, T2, T3, T4, T5: TimeStamp;
    fresh R1: Nonce;

    send_1(SN, GW, M1);
    recv_4(GW, SN, M4);
    send_5(SN, GW, M5);

    claim_SN1(SN, Alive);
    claim_SN2(SN, Weakagree);
    claim_SN3(SN, Niagree);
    claim_SN4(SN, Nisynch);
  }

  role GW
  {
    fresh T1, T2, T3, T4, T5: TimeStamp;
    fresh R1 : Nonce;

    recv_1(SN, GW, M1);
    send_2(GW, HN, M2);
    recv_3(HN, GW, M3);
    send_4(GW, SN, M4);
    recv_5(SN, GW, M5);

    claim_GW1(GW, Alive);
  }
}

```

```

claim_GW2(GW, Weakagree);
claim_GW3(GW, Niagree);
claim_GW4(GW, Nisynch);
}

role HN
{
  fresh T1, T2, T3, T4, T5: TimeStamp;
  fresh R1 : Nonce;

  recv_2(GW, HN, M2);
  send_3(HN, GW, M3);
  claim_HN1(HN, Alive);
  claim_HN2(HN, Weakagree);
  claim_HN3(HN, Niagree);
  claim_HN4(HN, Nisynch);
}
}

```

รูปที่ 4. โค้ด โปรแกรมของโปร ทอคอลที่นำเสนอ

Scyther results : verify

Claim	Status	Comments
WBANAUTHE SN WBANAUTHE,SN1 Alive Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,SN2 Weakagree Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,SN3 Niagree Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,SN4 Nisynch Ok Verified No attacks.		
GW WBANAUTHE,GW1 Alive Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,GW2 Weakagree Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,GW3 Niagree Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,GW4 Nisynch Ok Verified No attacks.		
HN WBANAUTHE,HN1 Alive Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,HN2 Weakagree Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,HN3 Niagree Ok Verified No attacks.		
WBANAUTHE,HN4 Nisynch Ok Verified No attacks.		

Done.

รูปที่ 5. ผลลัพธ์การตรวจสอบแบบ Verify Claim

Scyther results : autofverifiy						
Claim				Status		Comments
WBANAUTHE	SN	WBANAUTHE,SN5	Secret R1	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN6	Secret T5	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN7	Secret T4	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN8	Secret T3	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN9	Secret T2	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN10	Secret T1	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN11	Alive	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN12	Weakagree	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN13	Niagree	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,SN14	Nisynch	Ok	Verified	No attacks.
	GW	WBANAUTHE,GW5	Secret R1	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW6	Secret T5	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW7	Secret T4	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW8	Secret T3	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW9	Secret T2	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW10	Secret T1	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW11	Alive	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW12	Weakagree	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW13	Niagree	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,GW14	Nisynch	Ok	Verified	No attacks.
HN		WBANAUTHE,HN5	Secret R1	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,HN6	Secret T5	Ok	Verified	No attacks.
		WBANAUTHE,HN7	Secret T4	Ok	Verified	No attacks.

Done.

รูปที่ 6. ผลลัพธ์การตรวจสอบแบบ Autoverify Claim

รูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์การตรวจสอบโปรโตคอลที่นำเสนอด้วย Scyther สถานะ “OK” ของ Alive, Weakagree, Niagree และ Nisynch แสดงให้เห็นว่าโปรโตคอลที่นำเสนอมีความถูกต้องและมีความมั่นคงปลอดภัยจากการโจมตีทั้ง Verify Claim และ Autoverify Claim

5. บทสรุปและการอภิปราย

งานวิจัยนี้นำเสนอโปรโตคอลสำหรับการพิสูจน์ทราบตัวจริงที่ปลอดภัยระหว่างเซ็นเซอร์โหนดและเซิร์ฟเวอร์ โหนดที่เชื่อมต่อกับร่างกายของผู้ป่วยเราใช้ฟังก์ชันแฮช เพื่อให้โปรโตคอลมีน้ำหนักเบา นอกจากนี้การวิเคราะห์ความปลอดภัยและการนำเทคโนโลยีบล็อกเชนมาใช้ร่วมกัน ทำให้เห็นรูปแบบในงานวิจัยที่นำเสนอขึ้นสอดคล้องกับคุณสมบัติความปลอดภัยที่จำเป็น เช่น การป้องกันการโจมตีแบบ Replay

Attack,

การป้องกันการโจมตีแบบ Impersonation Attack, การรักษาความลับ, การพิสูจน์ทราบตัวจริงร่วมกัน เป็นต้น นอกจากนี้งานวิจัยที่นำเสนอจะใช้พลังน้อยกว่าโปรโตคอลที่มีอยู่ ทำให้โปรโตคอลมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการสื่อสารไร้สาย งานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยจะดำเนินการต่อจะพัฒนาโปรแกรมต้นแบบโดยใช้โปรโตคอลที่นำเสนอร่วมกับเทคโนโลยีบล็อกเชน เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงและให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Qu, G. Zheng, H. Ma, X. Wang, B. Ji, and H. Wu, "A survey of routing protocols in WBAN for healthcare applications. Sensors", vol. 19, no. 7, pp. 1638, 2019.
- [2] M. Ghamari, B. Janko, R.S. Sherratt, W. Harwin, R. Piechockic, and C. Soltanpur, "A survey on wireless body area networks for ehealthcare systems in residential environments", Sensors, vol. 16, no.6, pp. 831, 2016.
- [3] B. Narwal, and A.K. Mohapatra, "A survey on security and authentication in wireless body area networks", Journal of Systems Architecture, vol. 113, pp. 101883, 2021.
- [4] S. Al-Janabi, I. Al-Shourbaji, M. Shojafar, and S. Shamshirband, "Survey of main challenges (security and privacy) in wireless body area networks for healthcare applications", Egyptian Informatics Journal, vol. 18, no. 2, pp. 113-122, 2017.
- [5] M. Polai, S. Mohanty, and S.S. Sahoo, "A lightweight mutual authentication protocol for wireless body area network", In international conference on signal processing and integrated networks, pp. 760-765, 2019.
- [6] M. Kim, J. Lee, S. Yu, K. Park, Y. Park, and Y. Park, "A secure authentication and key establishment scheme for wearable devices", In International Conference on Computer Communication and Networks, pp. 1-2, 2019.
- [7] K. Chatterjee, "An improved authentication protocol for wireless body sensor networks applied in healthcare

- applications”, *Wireless Personal Communications*, vol.111, no. 4, pp. 2605-2623, 2020.
- [8] K. Parvez, F.T. Zohra, and M. Jahan, “A secure and lightweight user authentication mechanism for wireless body area network”, In *Proceedings of the International Conference on Networking, Systems and Security*, pp. 139-143, 2019.
- [9] B.A. Alzahrani, “Secure and efficient cloud-based IoT authenticated key agreement scheme for e-health wireless sensor networks”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 46, no. 4, pp. 3017-3032, 2021.
- [10] G. Praveen, P.K. Singh, and P. Ranjan, “The impact of blockchain on the healthcare environment”, *Central University of South Bihar, Gaya, India*, 7 Jun 2021.
- [11] L. Xiao, D. Han, X. Meng, W. Liang, and K. Li, “A secure framework for data sharing in private blockchain-based WBANs”, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 153956-153968, 2020.
- [12] Y. Ren, Y. Leng, F. Zhu, J. Wang, and H. Kim, “Data storage mechanism based on blockchain with privacy protection in wireless body area network”, *Sensors*, vol. 19, no. 10, pp. 2395, 2019.
- [13] N.R. Potlapally, S. Ravi, A. Raghunathan, and N. K. Jha, “A study of the energy consumption characteristics of cryptographic algorithms and security protocols,” in *IEEE Trans. Mobile computing*, vol. 5, no. 2, pp. 128-143, 2006.
- [14] A. Castiglione, F. Palmieri, U. Fiore, A. Castiglione, and A. De Santis, “Modeling energy-efficient secure communications in multi-mode wireless mobile devices,” *Journal of Computer and System Sciences*, vol 81, no. 8, pp. 1464-1478, 2015.
- [15] C. Thammarat, and C. Techapanupreeda, “Secure mutual authentication protocol based on wireless body area networks”, *Journal of Information Science and Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 29-37, 2021.
- [16] C. Thammarat, and C. Techapanupreeda, “A secure authentication and key exchange protocol for M2M communication”, *Electrical Engineering Congress (iEECON)*, pp. 456-459, 2021.
- [17] C.J.F. Cremers, “The scyther tool: verification, falsification, and analysis of security protocols,” In: *International Conference on Computer Aided Verification*. Springer, pp. 414-418, 2008.
- [18] C. Thammarat, and C. Techapanupreeda, “A secure mobile payment protocol for handling accountability with formal verification”, *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pp. 249-254, 2021.
- [19] C. Thammarat, and C. Techapanupreeda, “Secure key establishment protocol for smart homes based on symmetric cryptography”, *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, pp. 46-51, 2022.



วินิจฉัยมะเร็งผิวหนังจากภาพถ่ายโทรศัพท์ด้วย

โครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ

Skin Cancer Detection from Smartphone Imagery using Convolutional Neural Network

ขวัญกมล คิริกัญจน์, ปิยะวัฒน์ หนูเล็ก* และ กรวิทย์ พฤษชัยนิมิต

Kwankamon Dittakan, Piyawat Nulek* and Korawit Prutsachainimit

วิทยาลัยการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

College of Computing, Prince of Songkla University Phuket Campus

Received: December 04, 2022; Revised: December 19, 2022; Accepted: December 21, 2022; Published: December 30, 2022

ABSTRACT – Skin cancer is an abnormal growth of human skin cells that develop on the skin, being exposed directly to ultraviolet radiation for an extended period. It is one of the most common health issues at a rapidly alarming rate around the world, with 160,000 medical records reported annually. Many records are in Europe, America, and New Zealand. In contrast, the least reported was in Thailand. Thus, the early detection of skin cancer to prevent the chance of developing skin cancer is the aim of this research. This paper presents a new methodology for detecting skin cancer from images using a Convolutional Neural Network (CNN) with Deep Learning. The PAD-UFES-20 datasets are used for training and testing the detection model. The image preprocessing techniques that help improve detection accuracy are also proposed. The results of our study show that the accuracy of the deep learning model in our experiment was 81.50%.

KEYWORDS: Skin Cancer Detection, Computer-Aided Diagnosis (CAD), Deep Learning

บทคัดย่อ -- มะเร็งผิวหนังเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญในปัจจุบันถือเป็นอุบัติการณ์ผู้ป่วยโรคมะเร็งผิวหนังที่ทั่วโลกพบผู้ป่วยประมาณ 160,000 รายต่อปีซึ่งเป็นผลเกิดจากการเจริญเติบโตของเซลล์ผิวหนังที่ผิดปกติที่มีลักษณะของเนื้อร้ายที่เกิดขึ้นบนผิวหนังและเยื่อหุ้มหากไม่ได้รับการรักษาโดยทันทีอาจทำให้เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้แต่ด้วยการวินิจฉัยโรคมะเร็งผิวหนังในระยะเริ่มต้นนั้นจะสามารถช่วยลดโอกาสการลุกลามและลดอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยลงได้เท่าใดในการวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังจำเป็นต้องอาศัยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นในการวินิจฉัยซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการตรวจจับมะเร็งผิวหนังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Network) โดยใช้ชุดข้อมูล PAD-UFES-20 จากมหาวิทยาลัย Federal University of Espírito Santo ประเทศบราซิล ที่เก็บรวบรวมด้วยโทรศัพท์มือถือที่เหมาะสมแก่การพัฒนาเครื่องมือใหม่ ๆ เพื่อช่วยเหลือแพทย์ในการตรวจหาและจากการศึกษา งานวิจัยนี้อัตราความถูกต้องในการจำแนกมะเร็งผิวหนังมีความถูกต้องที่ 81.50%

คำสำคัญ: การตรวจจับมะเร็งผิวหนัง, โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ, การเรียนรู้เชิงลึก

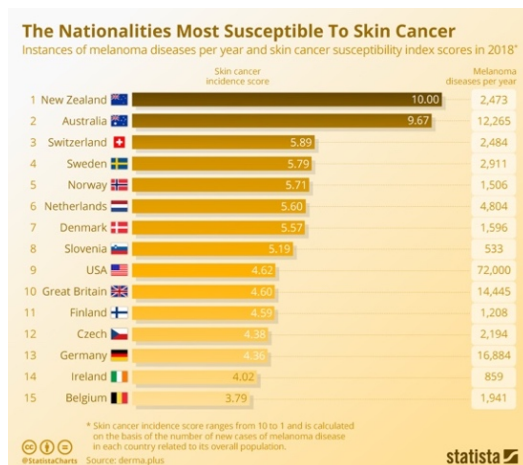
*Corresponding Author: s6230611019@phuket.psu.ac.th

1. บทนำ

มะเร็งผิวหนัง (Skin Cancer) หรือ (Cutaneous Carcinoma) เป็นโรคที่เซลล์ผิวหนังชั้นเยื่อผิวเกิดขึ้นได้บริเวณผิวหนัง อันเป็นผลมาจากความผิดปกติในการเจริญเติบโตและการแบ่งตัวของเซลล์ผิวหนังที่รวดเร็วเกินไป โดยที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมได้จนกลายเป็นเซลล์มะเร็งในที่สุด ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้กับผิวหนังทุกส่วนของร่างกาย [1] แต่จะพบได้มากในบริเวณผิวหนังที่ถูกแสงแดดโดยเฉพาะบริเวณศีรษะที่พบได้มากถึงประมาณ 80-90% และบริเวณใบหน้าพบได้ประมาณ 65% (ได้แก่ ศา หู จมูก) นอกจากนี้บริเวณอื่น ๆ ที่พบได้รองลงมาคือ คอ แขน และมือ ทั้งนี้มะเร็งผิวหนังยังสามารถแพร่กระจายไปยังเนื้อเยื่อบริเวณข้างเคียงหรืออวัยวะส่วนอื่น ๆ ได้ โดยจากข้อมูลสถิติมะเร็งผิวหนังนั้นจะพบได้สูงในคนผิวขาว แต่ทว่าโรคมะเร็งผิวหนังเป็นโรคที่พบได้น้อยในคนไทยจะพบได้ไม่บ่อยนักและโรคมะเร็งผิวหนังไม่อยู่ใน 10 ลำดับโรคมะเร็งที่พบบ่อยของทั้งหญิงและชายไทย เหตุเพราะผิวหนังของคนไทยมีเม็ดสีเมลานินที่ช่วยป้องกันอันตรายจากแสงแดด ซึ่งจะพบมะเร็งผิวหนังได้มากขึ้นตามอายุ มักพบได้บ่อยในคนวัยกลางคนและผู้สูงอายุ โดยส่วนมากจะพบในผู้ที่มียุมากกว่า 40 ปีขึ้นไป ทั้งนี้โอกาสเกิดในผู้ชายและผู้หญิงมีโอกาสใกล้เคียงกัน [2] กล่าวได้ว่าเป็นอุบัติการณ์ผู้ป่วยโรคมะเร็งผิวหนังที่ทั่วโลกพบผู้ป่วยมากถึงประมาณ 160,000 รายต่อปี และร้อยละ 80 ของผู้ป่วยจะเป็นชาวยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ดังแสดงในรูปที่ 1 ด้วยข้อมูลของสถิติจากบริษัทผู้นำด้านข้อมูลการตลาดและผู้บริโภค Statista ในเรื่องสถิติข้อมูลโรคมะเร็งผิวหนังในแต่ละสัญชาติสำหรับประเทศไทยนั้นพบผู้ป่วยรายใหม่ประมาณ 300 ถึง 400 รายต่อปี [3]

การตรวจวินิจฉัยการรักษามะเร็งผิวหนังที่ดีที่สุดคือการค้นพบตั้งแต่แรกเริ่ม ซึ่งสามารถตรวจอาการเบื้องต้นได้ด้วยตัวเองด้วยการสังเกตความผิดปกติของบริเวณผิวหนังโดยอาจจะมีการใช้กระจกหรือเครื่องมืออื่น ๆ ประกอบการมองเห็นหากมีข้อสงสัย มีตุ่มเนื้อที่ผิดปกติ หรือมีแผลเรื้อรังบริเวณผิวหนังที่มักจะโดนแสงแดดบ่อย ๆ ให้ปรึกษาแพทย์ผิวหนังเพื่อการวินิจฉัยโรคอย่างละเอียด โดยแพทย์ทำการวินิจฉัยโรคมะเร็งผิวหนังได้จากประวัติการได้รับปัจจัยเสี่ยงต่างๆการตรวจลักษณะก้อนเนื้อ แผล หรือไฟ ด้วยตาเปล่า การตรวจคลำค่อนน้ำเหลือง แต่ผลวินิจฉัยโรคที่แน่ชัดคือการตรวจสอบชิ้นเนื้อหรือก้อนเนื้อทำได้โดยการตัดชิ้นเนื้อบริเวณ

ที่สงสัยส่งตรวจทางพยาธิวิทยา ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำ ทั้งนี้หากแพทย์พบว่าตัวอย่างผิวหนังที่ตัดไปตรวจนั้นเป็นเนื้อร้ายแพทย์อาจส่งตรวจเอกซเรย์ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ หรือตรวจเลือดเพิ่มเติม เพื่อวิเคราะห์ว่ามะเร็งผิวหนังที่เป็นนั้นอยู่ในระยะใด ซึ่งในการแบ่งระยะของโรคมะเร็งผิวหนังจะคล้ายคลึงกับมะเร็งชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะมีการแบ่งออกเป็น 4 ระยะเช่นเดียวกับโรคมะเร็งอื่นๆ โดยแพทย์จะทำการวิเคราะห์ขนาดของก้อนเนื้อมะเร็งแล้วทำการตรวจวินิจฉัยว่ามะเร็งมีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองหรืออวัยวะอื่น ๆ หรือไม่ จากนั้นจึงสามารถระบุได้ว่าผู้ป่วยเป็นมะเร็งในระยะใด โดยผลของการรักษาโดยส่วนใหญ่การรักษาทั่วไปจะเป็นการผ่าตัดเอาเนื้อเยื่อมะเร็งผิวหนังออกให้หมด แต่ในบางกรณีมะเร็งผิวหนังที่ถูกปล่อยทิ้งไว้นานมีขนาดใหญ่เกินจะดำเนินการผ่าตัดออกได้หมด ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องเข้ารับรักษาด้วยการฉายรังสีทำให้เกิดการทำลายดีเอ็นเอ (DNA) ของเซลล์เนื้อโดยตรง [4] ทำให้เกิดการตาย การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสรีรวิทยาของเซลล์เนื้อเยื่อ หรือหากมะเร็งผิวหนังมีการแพร่กระจายไปส่วนอื่น ๆ ในการรักษานั้นจะต้องให้ยาเคมีบำบัดร่วมด้วย ทั้งนี้ในการเลือกการรักษาในแต่ละกรณีขึ้นกับชนิดของมะเร็ง ระยะ และบริเวณที่เป็น รวมทั้งสภาพร่างกายและความพร้อมของผู้ป่วยรวมทั้งวิธีตรวจคัดกรองโรคมะเร็งผิวหนังยังไม่มีวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจคัดกรองโรคมะเร็งผิวหนังทุกชนิดให้พบตั้งแต่ยังไม่มีอาการ ดังนั้นการดูแลตนเองโดยการหมั่นสังเกตผิวหนังทุกส่วนบนร่างกายอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 1. สถิติข้อมูลโรคมะเร็งผิวหนังแต่ละสัญชาติ ปี 2561[5]

อาการสัญญาณเตือนของโรคมะเร็งผิวหนังมีอาการที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหนัง สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและสามารถเกิดได้ทั่วร่างกาย โดยเฉพาะบริเวณ แขน ขา มือ ใบหน้า หรือบริเวณที่ต้องถูกแสงแดดเป็นเวลานาน ๆ ทั้งนี้ อาการของมะเร็งผิวหนังจะแตกต่างกันตามชนิดของมะเร็งผิวหนังดังนี้

มะเร็งผิวหนังชนิดBasal Cell Carcinoma

อาการที่เห็นได้ชัดจะมีตุ่มเนื้อสีชมพู แดง มีลักษณะผิวเรียบมัน และมักจะมีเส้นเลือดฝอยเล็ก ๆ กระจายอยู่บริเวณตุ่มเนื้อ บางครั้งก็มีลักษณะเป็นสะเก็ดหรือเป็นขุย ตุ่มเนื้อจากมะเร็งชนิดนี้จะโตช้าและจะโตไปเรื่อย ๆ ซึ่งอาจแผลแตกข้างใน ทำให้มีเลือดออกและกลายเป็นแผลเรื้อรัง

มะเร็งผิวหนังชนิด Squamous Cell Carcinoma

อาการของมะเร็งชนิดนี้จะเริ่มต้นจากตุ่มเนื้อสีชมพู หรือแดง และด้านบนอาจมีลักษณะเป็นขุยหรือตกสะเก็ด เมื่อสัมผัสบริเวณแผลจะรู้สึกแข็ง มีเลือดออกง่าย แผลจะค่อย ๆ ขยายขนาดไปเรื่อย ๆ และกลายเป็นแผลเรื้อรัง

มะเร็งผิวหนังชนิดMalignant Melanoma

เนื้อร้ายที่เกิดขึ้นบนผิวหนังของมะเร็งชนิดนี้ เริ่มต้นจะมีลักษณะคล้ายกับไฟหรือขี้แมลงวัน แต่จะโตเร็ว มีขอบเขตที่ไม่เรียบและอาจมีสีไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้ที่บริเวณแผลอาจตกสะเก็ดหรือมีอาการเลือดออกร่วมด้วย

กล่าวโดยสรุปมะเร็งผิวหนังจะมีอาการเป็นก้อนหรือ ปื้นแดง ผิดปกติที่ผิวหนัง เติบโตเร็ว มีขอบเขตไม่ชัด มักมีแผลหรือสีที่ผิดปกติ เช่นดำปนแดง หรือ เลือดออกง่าย โดยอาจพบเพียงก้อนเนื้อเดียว หรือหลายก้อนพร้อมกัน[6]

เทคโนโลยีสมัยใหม่เป็นสิ่งที่เข้ามาปรับเปลี่ยนทัศนคติและวิธีการใช้ชีวิตของมนุษย์ให้แตกต่างจากเดิมปัญญาประดิษฐ์ หรือ Artificial Intelligence (AI) เป็นนวัตกรรมที่สร้างการเปลี่ยนแปลงและนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีแห่งอนาคต ด้วยขั้นตอนกระบวนการคิดวิเคราะห์ของปัญญาประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยของประกอบย่อยต่าง ๆ เช่นการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งทั้ง 2 องค์ประกอบเปรียบเสมือนสมองของปัญญาประดิษฐ์ที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเรียนรู้คิดวิเคราะห์ [7] โดยทำการฝึกสอนคอมพิวเตอร์ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ให้สามารถเข้าใจและตอบสนองต่อชุดข้อมูลภาพได้อย่างชาญฉลาด ด้วยภาพดิจิทัลจากกล้องถ่ายภาพ

และวิดีโอต่าง ๆ ด้วยแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งส่งผลต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งานสามารถเรียนรู้ที่จะระบุและทราบถึงวัตถุต่าง ๆ ให้สามารถทำการตอบสนองต่อสิ่งที่คอมพิวเตอร์มองเห็นด้วยเหตุนี้ในการทำให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผล คาดการณ์ ตัดสินปัญหาต่าง ๆ ด้วยตนเองผ่านการเรียนรู้จากชุดข้อมูลตั้งต้นด้วยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการนำมาใช้วินิจฉัยมะเร็งผิวหนัง ด้วยอาศัยการใช้หลักของการประมวลผลภาพในการหารอยโรคให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามความต้องการ ทั้งในเชิงคุณภาพ ปริมาณ ในการวินิจฉัยโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเรียนรู้เชิงลึกเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบย่อยของปัญญาประดิษฐ์ เป็นวิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น (Layer) แล้วทำการเรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการตรวจจับรูปแบบของข้อมูล (Pattern) หรือจำแนกข้อมูล (Classification) [8] โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ หรือ Convolutional Neural Network (CNN) เป็นการวิเคราะห์รูปภาพที่มนุษย์นั้นมองเห็นผ่านการแบ่งรูปภาพออกเป็นพื้นที่ย่อย ๆ เป็น Pixel แต่ละส่วนเพื่อทำการวิเคราะห์จากข้อมูลเมตริก (Metric) รูปภาพ [9] แล้วทำการเรียนรู้คุณสมบัติต่าง ๆ ของรูปภาพในแต่ละชั้นค่อยๆ ขยับขึ้นไปเรื่อย ๆ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเทคโนโลยีและเทคนิคต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น มาใช้ในสร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถตรวจจับมะเร็งผิวหนังได้ด้วยการเรียนรู้เชิงลึกโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 5 สถาปัตยกรรมและชุดข้อมูลเปิด PAD-UFES-20 ที่อนุญาตให้สามารถเข้าถึงได้ ผู้กระบวนการประมวลผลภาพที่ทำให้ได้คุณสมบัติของภาพทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้วิเคราะห์ภาพถ่ายโรคมะเร็งผิวหนังจากนั้นดำเนินการสร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจจับมะเร็งผิวหนังโดยงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับทางการแพทย์และคาดว่าจะได้รับประโยชน์ดังต่อไปนี้ (i) ได้แบบจำลองสำหรับการวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังที่สามารถนำไปสู่การพัฒนาต่อยอดความคิดได้อาทิ พัฒนาแอปพลิเคชัน (Application) คัดกรอง วินิจฉัยมะเร็งผิวหนังบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟน หรือ เว็บไซต์ (Website) เป็นต้น (ii) เป็นเครื่องมือในการช่วยคัดกรองและวินิจฉัยมะเร็ง

ผิวหนังเบื้องต้นร่วมกับแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งช่วยลดภาระงานของแพทย์และบุคลากร (iii) ภาพที่ใช้ในการตรวจจับเป็นภาพจากกล้องที่มีมือถือทำให้ประหยัดไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ ทำให้ผู้ป่วยได้ผลการตรวจโรคเร็วที่เร็วขึ้นแต่ด้วยข้อจำกัดที่อาจจะเกิดขึ้นและมีต่อโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นได้ ได้แก่ (i) ลักษณะของโรคที่อาการเป็นก้อน ปื้นแดงที่ผิวหนัง มีขอบเขตไม่ชัด มีแผลหรือสีที่ผิดปกติ เช่น ดำปนแดง หรือ เลือดออกง่าย โดยอาจพบเพียงก้อนเนื้อเดียว หรือหลายก้อนพร้อม ๆ และที่สำคัญลักษณะกายภาพสภาพร่างกายของผู้ป่วยที่แตกต่างกันออกไป (ii) ข้อมูลรูปภาพรวบรวมด้วยอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ข้อมูลรูปภาพที่มีสภาพแสง ความคมชัด ความเข้มของสีความละเอียด และขนาดที่แตกต่างกันไปตามอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดนี้มีผลโดยตรงต่อโมเดลให้มีความเชื่อถือลดน้อยลง รวมทั้งปัจจัยแฝงอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยทำการทดลองการวิเคราะห์ทำนายผลด้วยข้อมูลรูปภาพเป็นโรคเมลาเนียผิวหนังหรือไม่ ด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึกสถาปัตยกรรม VGG19, EfficientNetB7, Xception, DenseNet121 และ ResNet152V2 ด้วยเทคนิคถ่ายโอนความรู้ซึ่งชุดข้อมูลที่ใช้เป็นชุดข้อมูล PAD-UFES-20 จากสถาบัน Federal University of Espírito Santo (UFES) ที่อนุญาตให้เข้าถึงได้และต่อไปนี้มีคำแนะนำข้อต่าง ๆ ในงานวิจัยฉบับนี้ ดังนี้ ส่วนที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อธิบายถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ ส่วนที่ 3 การดำเนินงานวิจัยกล่าวอธิบายถึงวิธีการดำเนินการการประมวลผลภาพอธิบายการนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ ให้ได้ข้อมูลที่ต้องการในเชิงคุณภาพปริมาณ และการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ ส่วนที่ 4 โครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการอธิบายถึงข้อมูลสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้งานในงานวิจัยด้วยเทคนิคการถ่ายโอนการเรียนรู้และการปรับแต่งส่วนที่ 5 ชุดข้อมูลอธิบายถึงแหล่งชุดข้อมูลที่ได้นำมาใช้งานส่วนที่ 6 การทดลองและการประเมินผล โดยการนำเสนอผลการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ได้สร้างขึ้นมาทั้งหมดด้วยค่าความแม่นยำและค่าความผิดพลาดของโมเดลในแต่ละสถาปัตยกรรมและการทดลอง ส่วนที่ 7 สรุปผลการทดลองและการอภิปรายสรุปผลวิจัยที่ได้พัฒนาขึ้นมาทั้งหมดถึงโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดี รวมทั้งนำเสนองานที่สามารถพัฒนาต่อยอด

และทำได้ในอนาคตจากงานวิจัยชิ้นนี้โดยยังมุ่งหวังให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อทางการแพทย์และผู้ป่วยต่อไปในอนาคต

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถตรวจจับโรคเมลาเนียผิวหนังได้จากรูปภาพโทรศัพท์มือถือด้วยการจำแนกภาพด้วยวิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติ ด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทมนุษย์ ผ่านจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองเห็นพื้นที่ที่น้อยๆ และนำกลุ่มของพื้นที่น้อยๆ มาผสมผสานกันโดยการมองเห็นพื้นที่น้อยๆ ของมนุษย์จะมีการแยกคุณลักษณะ (Feature Extraction) ของพื้นที่น้อยๆ นั้น เช่น ลายเส้น และการตัดกันของสี โดยการที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ถึงพื้นที่ตรงไหนเป็นเส้นตรงหรือสีตัดกัน ด้วยเหตุเพราะมนุษย์ดูถึงองค์ประกอบ และพิจารณาจากจุดที่สนใจในบริเวณรอบ ๆ ประกอบรวมกัน ด้วยเทคนิคการถ่ายทอดความรู้โมเดล (Transfer Learning) ร่วมกับแก้ไขปรับปรุงแก้ไขโมเดล (FineTuning) โดยจากกระบวนการต่าง ๆ สามารถนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

งานวิจัย Automating the ABCD Rule for Melanoma Detection: A Survey กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีการประเมินความเสี่ยงในการเป็นโรคเมลาเนียผิวหนังจากภาพถ่ายโดยใช้กฎ ABCD กล่าวคือ A คือ ความไม่สมมาตรของรอยโรคผิวหนัง (Asymmetry) B คือ ลักษณะขอบของรอยโรคผิวหนัง (Border) C คือ สีของรอยโรคผิวหนัง (Color) และ D คือ ลักษณะโครงสร้างของรอยโรคผิวหนัง (Dermoscopic Structure) ในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน โดยขั้นตอนวิธีการตรวจคัดกรองโรคเมลาเนียผิวหนังจากภาพถ่ายรอยโรคโดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัล การเรียนรู้เครื่องในการสกัดลักษณะเด่นจากภาพถ่ายที่ถ่ายด้วยกล้อง Dermoscopy และจำแนกประเภทรอยโรคผิวหนังว่าเป็นเนื้อร้ายหรือไม่ใช่เนื้อร้ายให้มีความถูกต้องแม่นยำเทียบเท่าการตรวจคัดกรองโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ [10]

งานวิจัย A Method for Melanoma Skin Cancer Detection Using Dermoscopy Images ได้นำเสนอวิธีการตรวจหาเมลาเนียผิวหนังโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ในชุดข้อมูลภาพถ่ายเมลาเนียผิวหนังจะถูกประมวลผลล่วงหน้า จากนั้นจึงทำการหาขอบเขต

ของโรค โดยใช้เทคนิคการแบ่งส่วน (Segmentation Technique) ด้วยการแยกคุณลักษณะดำเนินการแยกประเภทด้วย SVM (Support Vector Machine) ได้ผลลัพธ์ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function) ซึ่งทำงานได้ดีและตัวแยกประเภท Bayesian Network โดยอัลกอริทึม SVM ให้ความแม่นยำสูงสุดในการจำแนกมะเร็งผิวหนังจากเนื้อร้ายที่ไม่ร้ายแรง โดยใช้เพียงภาพผิวหนังในการตรวจหาเนื้อร้าย [11]

งานวิจัย The Impact Of Patient Clinical Information On Automated Skin Cancer Detection นำชุดข้อมูลภาพทางคลินิกที่รวบรวมโดยใช้สมาร์โฟน และข้อมูลทางคลินิกที่เกี่ยวข้องกับผู้ป่วย มาวิเคราะห์ด้วยรูปแบบการเรียนรู้เชิงลึก และนำมาซึ่งผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลทั้งที่มีและไม่มีการประมวลผลภาพโดยผลลัพธ์ของการปรับปรุงข้อมูลช่วยเพิ่มความแม่นยำขึ้นประมาณ 7% เมื่อเทียบกับการใช้วิธีการปกติที่ไม่ผ่านการประมวลผลภาพใด ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการประมวลผลภาพที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพของโมเดล แต่ตัวโมเดลยังคงสร้างความสับสนให้กับรอยโรคทางผิวหนังชนิดACK ซึ่งเป็นเพียงโรคผิวหนังแต่ตัวโมเดลยังคงสร้างความสับสนให้กับ SCC และ BCC ก่อนข้างมาก[12]

งานวิจัย An Enhanced Technique Of Skin Cancer Classification Using Deep Convolutional Neural Network With Transfer Learning Models กล่าวถึงแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก(DCNN) เพื่อการจำแนกประเภทที่แม่นยำระหว่างโรคมะเร็งผิวหนังและโรคทางผิวหนังโดยประเมินประสิทธิภาพการใช้งานแบบโมเดลDCNN เปรียบเทียบกับโมเดลการถ่ายโอนการเรียนรู้ ได้แก่ AlexNet, ResNet, VGG16, DenseNet, MobileNet ซึ่งใช้ได้นำไปใช้งานกับชุดข้อมูลภาพHAM10000 ที่เป็นภาพถ่ายโรคมะเร็งผิวหนังด้วยกล้อง Dermoscopy และจากผลทดสอบได้ค่าความแม่นยำสูงสุด 93.16% สำหรับการฝึกสอน 91.93% ในการทดสอบตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายของโมเดล DCNN ที่นำเสนอปรากฏผลว่ามีความน่าเชื่อถือและแข็งแกร่งกว่าเมื่อเทียบกับโมเดลการถ่ายโอนการเรียนรู้ที่ได้กล่าวข้างต้น [13]

งานวิจัยMulti-Scale Contrast Based Skin Lesion Segmentation In Digital Images บทความนำเสนออัลกอริทึมที่อิงตามคอนทราสต์สำหรับการแบ่งส่วนรอยโรคของผิวหนังในภาพถ่าย พิจารณาจากความคล้ายคลึงกันจากความแตกต่างตามกราฟอิสโตแกรมโดยการคำนวณความน่าจะเป็นของการ

เกิดขึ้นและการเชื่อมโยงกันเชิงพื้นที่ เพื่อการคำนวณการเชื่อมต่อพื้นหลังที่เป็นการทับซ้อนกับเส้นขอบของภาพ ซึ่งทำหน้าที่ในการลบขอบเขตพื้นหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพและการประมาณค่าContrastช่วยปรับปรุงความแม่นยำรูปแบบการให้น้ำหนักพิกเซลที่ควบคุมการมีส่วนร่วมของพิกเซลแต่ละรายการตามความเกี่ยวข้อง เพื่อจัดการกับการเปลี่ยนแปลงขนาดของรอยโรคและบางพื้นที่ในภาพได้กำหนดกระบวนการอนุมานแบบลำดับขั้นที่ปรับความโดดเด่นของรอยโรคพื้นหลังให้เหมาะสมที่สุด อัลกอริทึมของเราเรียบง่าย มีโครงสร้างหลายขนาดและทนทานต่อภาพสิ่งประดิษฐ์ . การทดลองกับชุดข้อมูลมาตรฐาน 2 ชุดแสดงให้เห็นวิธีการของให้การแบ่งส่วนรอยโรคที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพที่ดี[14]

งานวิจัยSkin Cancer Diagnosis Using Convolutional Neural Networks for Smartphone Images: A Comparative Studyนำเสนอวิธีการสามวิธีสำหรับการจำแนกประเภท Binary (มะเร็งผิวหนังและปาน) โดยใช้ภาพจากสมาร์โฟน ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสถาปัตยกรรม CNNต่างๆ ได้แก่ AlexNet, MobileNetV2 และ ResNet50 ด้วยเทคนิคการถ่ายโอนการเรียนรู้กับข้อมูลเดิมและการถ่ายโอนการเรียนรู้โดยการชุดข้อมูลเสริม วิธีการที่นำเสนอใช้กับชุดข้อมูลPAD-UFES-20 ซึ่งเป็นชุดข้อมูลภาพในสมาร์โฟน ข้อมูลเสริมได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของแต่ละวิธีเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพสำหรับข้อมูลต้นฉบับ ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเกิดขึ้นได้เมื่อใช้ Alex-net กับการเรียนรู้การถ่ายโอนและการเพิ่มข้อมูล เนื่องจากได้รับความแม่นยำ 99% และ ความจำเพาะ 99.792% ในการศึกษาได้มีการใช้มะเร็งผิวหนัง 2 ชนิดในชุดข้อมูลนี้ ได้แก่Malignant Melanoma และ Melanocytic Nevus of Skin[15]

งานวิจัยAutomatic Skin Lesion Classification Based On Mid-Level Feature Learning บทความนี้นำเสนอวิธีการเรียนรู้คุณลักษณะแบบใหม่สำหรับการจำแนกรอยโรคโดยในวิธีการแบ่งส่วนรอยโรคของผิวหนังจะดำเนินการเป็นขั้นตอนแรกเพื่อตรวจหาบริเวณที่สนใจ (ROI) ของภาพรอยโรคของผิวหนังด้วยเทคนิคการถ่ายโอนความรู้ซึ่งมีสถาปัตยกรรม ResNet และ DenseNet ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของคุณสมบัติระดับกลางMid-Level Featureและวิธีการที่นำเสนอได้รับประสิทธิภาพที่ดี ในการจำแนกโรคมะเร็งผิวหนัง [16]

งานวิจัย Fusing Fine-Tuned Deep Features For Skin Lesion Classification นำเสนอวิธีการเพื่อจำแนกรอยโรคที่

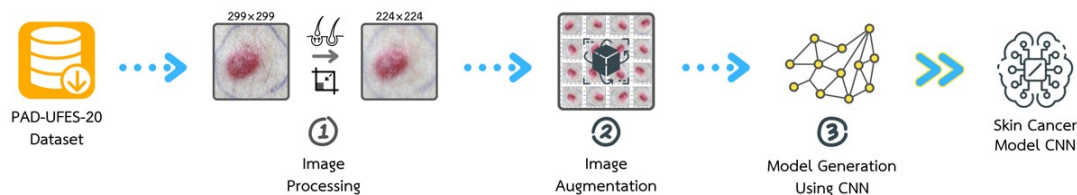
ผิวหนังจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ ด้วยวิธีการเครือข่ายประสาทเทียม (CNNs) ที่ทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสถาปัตยกรรมต่าง ๆ โดยผลการทำนายจากการประเมินภาพทดสอบ 600 ภาพของการจำแนกรอยโรคที่ผิวหนังของ ISIC 2017 ด้วยอัลกอริทึม Support Vector Machine Classifiers ที่ให้ผลประสิทธิภาพที่ 87.3% สำหรับการจำแนกประเภทมะเร็งผิวหนัง [17]

งานวิจัย MED-NODE: A Computer-Assisted Melanoma Diagnosis System Using Non-Dermoscopic Images ได้นำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (สำหรับผู้เชี่ยวชาญ) ซึ่งเรียกว่า MED-NODE โดยใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายรอยโรคที่ไม่ใช้การส่องกล้อง Dermoscopic ซึ่งระบบจะแยกส่วนที่เป็นรอยโรค

ออกโดยอัตโนมัติ ด้วยการคำนวณสีและลักษณะของผิวหนัง เนื้อหาที่นำเสนอมีความแม่นยำในการวินิจฉัยผลลัพธ์ที่ 81% และดำเนินการเทียบเคียงได้กับภาพ Dermoscopic [18]

3. การดำเนินงานวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยที่นำเสนอนี้ คือ การวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (CNN) ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยไว้ 3 ขั้นตอนดังนี้ (i) การประมวลผลภาพ (Image Processing) (ii) การเพิ่มจำนวนรูปภาพ (Image Augmentation) (iii) สร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาสำหรับวิเคราะห์ภาพมะเร็งผิวหนัง ซึ่งสามารถแสดงผังแผนภาพรูปที่ 2



รูปที่ 2. แผนภาพการดำเนินงานวิจัยวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังจากภาพถ่ายโทรศัพท์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ

3.1 การประมวลผลภาพ

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลรูปภาพที่เป็นผลให้ภาพอยู่ในคุณลักษณะที่เหมาะสมเพื่อนำไปฝึกสอนโมเดลปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งการประมวลผลภาพที่นำมาใช้งานมีกระบวนการดังนี้

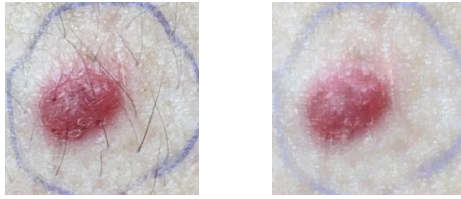
การแบ่งชุดข้อมูล จัดกลุ่มข้อมูลใหม่: จากชุดข้อมูล PAD-UFES-20 จำนวน 2,298 ภาพ ประกอบด้วยโรคทางผิวหนังทั้งหมด 6 ชนิด ผู้วิจัยจำแนกรายออกเป็น 2 กลุ่มสำหรับการสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ ได้แก่

กลุ่มที่ 1 โรคมะเร็งผิวหนัง: Squamous Cell Carcinoma, Basal Cell Carcinoma, Malignant Melanoma

กลุ่มที่ 2 โรคทางผิวหนัง: Melanocytic Nevus of Skin, Seborrheic Keratosis, Actinic Keratosis

ทั้งนี้ดำเนินการแบ่งชุดข้อมูลเป็นกลุ่มละเท่า ๆ กันจำนวน 178 ภาพ เป็นชุดข้อมูลทดสอบ และจำนวน 2,000 ภาพ โดยแยกเป็นสำหรับการฝึกสอนที่ 80% (1,600 ภาพ) และชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องที่ 20% (400 ภาพ)

การลบสิ่งรบกวน (Artifact Removal) ด้วยส่วนใหญ่ภาพของรอยโรคที่ผิวหนังมีองค์ประกอบที่ไม่ต้องการหรือสิ่งรบกวน (Artifact) ที่ปรากฏอยู่ในรูปเช่นเส้นผม เส้นขนเงา และฟองอากาศที่ประกอบภายในภาพเป็นต้น ซึ่งสิ่งรบกวนจะปิดบังรอยโรคบางส่วนทำให้สีของรอยโรคเปลี่ยนไปหรือขอบเขตของรอยโรคไม่ชัดเจนซึ่งทำให้ยากต่อการแบ่งส่วนของรอยโรคและให้ข้อมูลที่ผิดพลาดเกี่ยวกับลักษณะของรอยโรค ด้วยเหตุนี้อาจจะส่งผลต่อข้อมูลในสร้างโมเดลในขั้นตอนต่อไปได้ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอใช้งาน Digital Hair Removal ด้วยเทคนิคการมองเห็นเทียมในการจัดองค์ประกอบที่รบกวนด้วย DigitalHairRemoval ดังนี้ (i) แปลงภาพต้นฉบับเป็นภาพโทนสีเทา (ii) ใช้การแปลง Morphological Black-Hat จากรูปภาพโทนสีเทา (iii) คำนวณความแตกต่างระหว่างภาพที่ได้กับต้นฉบับ (iv) ใช้ภาพ Binary Thresholding เพื่อเลือกเส้นขนในภาพ (v) แทนที่ Pixel ที่เหมือนกันระหว่างมาสก์ที่เลือกกับรูปภาพต้นฉบับ [19] ในการกำจัดสิ่งรบกวนดังกล่าวแสดงผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 3



รูปดั้งเดิม

DigitalHairRemoval

รูปที่ 3. ผลลัพธ์การลบสิ่งรบกวน DigitalHairRemoval

ปรับปรุงรูปภาพ (Image Enhancement)เป็นกระบวนการปรับปรุงข้อมูลภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยการแก้ไขบางคุณลักษณะให้เหมาะสมและจำเพาะกับงานซึ่งยังคงเอกลักษณ์ที่ต้องการไว้ด้วยเทคนิควิธีการปรับขนาดภาพ (Image Scaling) กำหนดให้รูปภาพมีขนาดความกว้างความยาวคงที่ด้วยข้อมูลรูปภาพมะเร็งผิวหนัง PAD-UFES-20ที่ได้เก็บรวบรวมจากกล้องอุปกรณ์สมาร์ตโฟนชนิดต่าง ๆ ทำให้มีขนาดที่แตกต่างกันในแต่ละรูป ผู้วิจัยได้ปรับขนาดเป็น 224x224 สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมสถาปัตยกรรม DenseNet121, EfficientNetB7, ResNet152V2, VGG19 และสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมสถาปัตยกรรม Xception ปรับขนาดเป็น 299x299 เพื่อให้ข้อมูลเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับเทคนิคการถ่ายโอนความรู้ที่จะนำมาใช้งานกับงานวิจัยนี้

3.2 เพิ่มจำนวนรูปภาพ

การเพิ่มจำนวนข้อมูลการฝึกฝนอบรมให้มากขึ้น ด้วยเหตุจำนวนชุดข้อมูลรูปภาพโรคมะเร็งผิวหนังตั้งต้นที่มีจำกัด จึงใช้เทคนิคสังเคราะห์ข้อมูลขึ้น ซึ่งกำหนดค่าตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1. การตั้งค่าการเพิ่มจำนวนรูปภาพ

การตั้งค่า (Setting)	ค่า (Value)
การบิดภาพ (Shear)	10%
การขยายภาพ (Zoom)	10%
การหมุนภาพ (Rotate)	20Degree
การเลื่อนภาพซ้ายขวา (Width Shift)	10%
การเลื่อนภาพซ้ายขวาขึ้นลง (height Shift)	10%
การกลับภาพแนวนอน (Horizontal Flip)	True
การกลับภาพแนวตั้ง (Vertical Flip)	True

ซึ่งเป็นการขยายจำนวนข้อมูลช่วยเพิ่มความหลากหลายของภาพให้แก่การฝึกอบรมโมเดล เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการ Over Fitting ที่อาจจะเกิดขึ้น

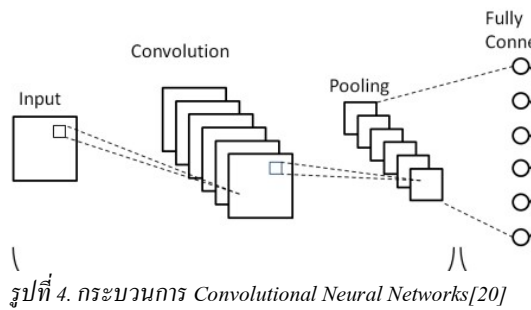
3.4 การสร้างโมเดลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ

นำรูปภาพที่ผ่านการประมวลผลภาพแล้วทั้งหมดไปเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในการฝึกฝน โมเดลซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การเรียนรู้เชิงลึกโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ จำนวน 4 สถาปัตยกรรม ได้แก่ EfficientNetB7, VGG19, Xception, และ ResNet152V2 ด้วยการใช้เทคนิคการถ่ายโอนความรู้ที่จะช่วยลดเวลาการเรียนรู้ โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก เพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโมเดลในงานใหม่ด้วยการนำบางส่วนของโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนมาทาสชุดข้อมูลขนาดใหญ่จาก ImageNet เรียบร้อยแล้ว มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของโมเดลใหม่ที่จะสร้างขึ้นมานี้ งานวิจัยชิ้นนี้ร่วมกับเทคนิคการปรับแต่งนำชุดข้อมูลชุดใหม่ไปฝึกสอน โมเดลเพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้น สามารถเรียนรู้จากข้อมูลที่มีปริมาณไม่มากนักได้ เมื่อเทียบกับการเรียนรู้จากศูนย์โดยใช้ Pre-Trained Weights ที่เปรียบได้ราวกับผลความรู้ที่ได้มาจากการเรียนรู้ของแบบโมเดลที่มีสถาปัตยกรรมแบบจำลองเดียวกัน ที่ถูกนำไปใช้เรียนรู้มาแล้วกับชุดข้อมูลอื่นมาช่วยในการเรียนรู้ของแบบจำลองที่ต้องการจะเรียนรู้ใหม่ได้ โดยที่ตัว Pre-Trained Weights นี้ถูกเรียนรู้มา กับชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่จาก ImageNet ที่เป็นชุดข้อมูลภาพขนาดใหญ่ โดยในงานวิจัยจะทำการฝึกฝนปรับแต่งในบางส่วนของ Base Model ที่มีการยกเลิกการตรึง (Unfreeze) ขึ้นการอัปเดตน้ำหนัก (Update Weight) ร้อยละ 80 ของโครงข่ายสถาปัตยกรรมนั้น ๆ ซึ่งโมเดลที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์ภาพโรคมะเร็งผิวหนัง ซึ่งจะมีการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลร่วมด้วย

4. โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ

การเรียนรู้เชิงลึกเป็นศาสตร์ย่อยของการเรียนรู้ของเครื่องเป็นการเรียนรู้แบบอัตโนมัติด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Neurons) โดยนำระบบโครงข่ายประสาท (Neural Network) มาซ้อนกัน หลายชั้น (Layer) และทำการเรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่างโดยการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพเกิดจากการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Network : CNN) ซึ่งเป็นตัวแบบโครงข่ายประสาท (Neural Network) ขนาดใหญ่ที่มีหลายชั้น (Layers) โดย

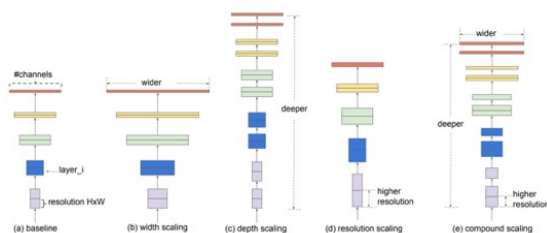
แต่ละชั้นจะเกิดการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน และสกัดค่าคุณลักษณะอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 4รวมทั้งสามารถพัฒนาให้เป็นตัวค้นแบบที่มีประสิทธิภาพและนำมาใช้งานถ่ายโอนความรู้ (Transfer Learning)



และสถาปัตยกรรมที่นำมาใช้งานในการวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังจากภาพถ่าย ร่วมกับเทคนิคถ่ายโอนความรู้คือ (i) EfficientNetB7 , (ii) Xception, (iii) DenseNet121, (iv) VGG19, และ (v) ResNet152V2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

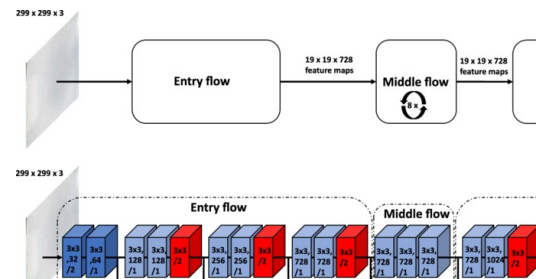
4.1 EfficientNetB7

ด้วยวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ(Efficiency)และค่าความแม่นยำ(Accuracy)แก่โมเดลที่สร้าง อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Compound ซึ่งเป็นการเพิ่มความแม่นยำสถาปัตยกรรมโมเดลต่างๆที่บ่อยครั้งจะเพิ่มเพียงDimension อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ด้วยเทคนิควิธีการของ Compound Scaling นั้นจะเป็นการเพิ่มทั้ง ความกว้าง (Width), ความลึก (Depth)และความละเอียด (Resolution)ด้วยอัตราส่วนคงที่(Constant Ratio)ตัวเดียวกันโดยจากรูปที่ 5 จะแสดงให้เห็นถึงการ Scale Up ทั้ง Depth, Width และ Resolution ของโครงข่ายที่ช่วยทำให้โมเดลนั้นสามารถ Extract Feature ได้แม่นยำมากขึ้น ดังนั้น EfficientNet จึงทำCompound Scaling เพื่อเพิ่มความแม่นยำของโมเดล และ EfficientNetB7เป็นการเพิ่ม Constant Ratio ที่มากขึ้นตามลำดับเวอร์ชันของโมเดลสถาปัตยกรรม(B0 ถึง B7)



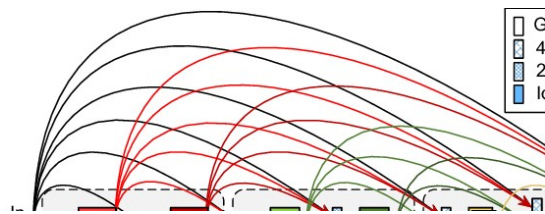
4.2 Xception

ด้วยความสามารถช่วยปรับปรุงโมเดลและสถาปัตยกรรมการเริ่มต้นด้วยสถาปัตยกรรมที่เรียบง่ายและมีความมีประสิทธิภาพเท่ากับ ResNet และ InceptionV4แต่มีการทำงานที่น้อยลงด้วยรูปแบบและรหัสง่ายกว่า โดยประกอบด้วย 36 ชั้น Convolutional สำหรับฐานสกัดค่าคุณลักษณะ และโครงสร้างเป็น 14 โมดูลดังรูปภาพที่ 6



4.3 DenseNet121

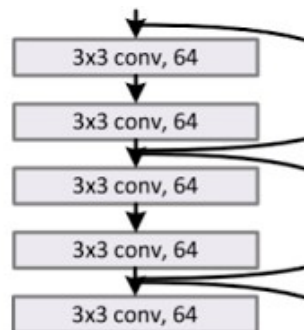
DenseNet หนึ่งในสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ(CNN) ซึ่งการทำงานของ DenseNet ได้ถูกพัฒนามาจากสถาปัตยกรรมของ ResNetการทำงานจึงมีความคล้ายคลึงกัน แตกต่างเพียงการนำส่งข้อมูลในแต่ละชั้น ResNet จะนำข้อมูลส่งออก (Output) ของชั้นก่อนหน้ามาเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ของชั้นถัดไป แต่การทำงานของ DenseNet หลังจากที่ได้ข้อมูลส่งออก (Output) ของชั้นนั้น จะนำข้อมูลส่งออก (Output) ไปเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ของชั้นในอนาคต และตัวเลขที่อยู่ด้านหลัง เช่น DenseNet121หมายถึงจำนวนของชั้นทั้งหมดของสถาปัตยกรรมแสดงดังรูปประกอบที่ 7



4.4 ResNet152V2

ResNetหรือ Deep Residual Network เป็นการแก้ปัญหาเรื่อง Vanishing Gradient ซึ่งจะเกิดขึ้นกับโครงข่ายที่มีความลึกที่ค่อนข้างมาก โดยใช้เทคนิคการออกแบบ Module ที่มีลักษณะ

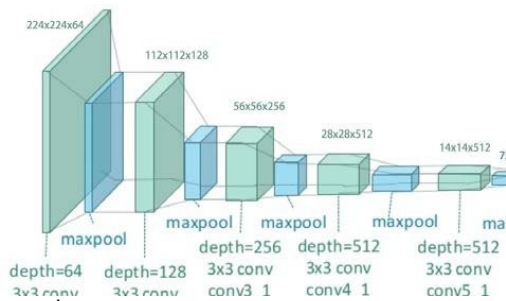
เป็นทางลัดลงในโครงข่าย ดังรูปที่ 8 ด้วยตัวโครงข่ายจะประกอบด้วยกัน 4บล็อก (Stage)จำนวน Layer มีพารามิเตอร์สำหรับการฝึกทั้งหมดจะกลายเป็นจำนวนชั้นที่ใช้เรียกชื่อเช่น ResNet152 จะหมายถึงจำนวน 152 เลเยอร์ ซึ่งจะอธิบายขนาดว่า [3, 4, 40, 3] ซึ่งคือ $(3+4+40+3)*3$ เท่ากับ150 ชั้น และมีชั้นคอนโวลูชันที่ติดกับอินพุตบวกกับชั้น Dense ที่ติดชั้นเอาต์พุต รวมอีก 2 ชั้น รวมกันทั้งหมดเท่ากับ152เลเยอร์ทั้งนี้ResNetที่นำมาใช้งานจะมีด้วยResNet18, ResNet34, ResNet50, ResNet101 และ ResNet152 โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ ResNet152V2 มาสร้างแบบโมเดล



รูปที่ 8. โครงสร้างสถาปัตยกรรมโครงข่าย ResNet[24]

4.5 VGG19

สถาปัตยกรรม VGG หรือ Visual Geometry Groupด้วยมีสิ่งที่เป็นจุดเด่นของโมเดลVGG19คือการแทนที่ Hyperparameter จำนวนมาก ทั้งนี้เครือข่าย VGG นี้จะใช้ Multiple Convolutional Layersเน้นไปที่การออกแบบLayerโดยใช้ตัวกรองขนาด 3×3 (Filters) ในแต่ละชั้นของConvolutionsด้วยการใช้งานSame Padding และ Maxpooling2X2 Pixels, 2 Stride แบบเดียวกันตลอดทั้งโครงสร้างเพื่อแสดงถึงคุณลักษณะที่ซับซ้อน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9. โครงสร้างสถาปัตยกรรมโครงข่าย VGG19[25]

5. ชุดข้อมูล

เก็บข้อมูลรูปภาพมะเร็งผิวหนังที่ได้รวบรวมจากกล้องอุปกรณ์สมาร์ทโฟนชนิดต่าง ๆ โดยมีฐานข้อมูลสาธารณะที่อนุญาตให้สามารถเข้าถึงได้และไม่เสียค่าบริการซึ่งมีการเผยแพร่ทั้งรูปภาพของโรคทางผิวหนังและมะเร็งผิวหนังดังนั้นจึงเป็นส่วนสำคัญต่อการนำไปสร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจจับมะเร็งผิวหนังจากภาพถ่ายโทรศัพท์มือถือ

โดยข้อมูลสาธารณะที่กล่าวคือชุดข้อมูล PAD-UFES-20: A Skin Lesion Dataset Composed Of Patient Data And Clinical Images Collected From Smartphonesที่ได้เผยแพร่สู่สาธารณะในวันที่ 8 กรกฎาคม.ศ.2563จากสถาบัน Federal University of Espírito Santo (UFES) ณ ประเทศบราซิลถูกรวบรวมขึ้นระหว่างปีพุทธศักราช2561 ถึง2562 ซึ่งเป็นภาพรอยโรคที่ผิวหนังของผู้ป่วยจากภาพทางคลินิกที่รวบรวมด้วยอุปกรณ์สมาร์ทโฟนบนแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสำหรับรวบรวมข้อมูลชุดนี้โดยเฉพาะ ดังรูปที่ 5ซึ่งรูปภาพที่ได้จะแสดงถึงรอยโรคที่ผิวหนังของผู้ป่วยที่อาจมีรอยโรคที่ผิวหนังอย่างน้อยหนึ่งรอย และรอยโรคที่ผิวหนังอาจมีหนึ่งภาพหรือมากกว่าทั้งนี้ในชุดข้อมูลประกอบด้วยผู้ป่วยจำนวน 1,373 คนรอยโรคบนผิวหนัง(Skin Lesion) 1,641 รูป และรูปภาพจำนวน 2,298 ภาพสำหรับการวินิจฉัยที่แตกต่างกัน 6 รายการ ได้แก่ โรคผิวหนัง 3 รายการและมะเร็งผิวหนัง 3โดยรวมทั้งหมดร้อยละ 58.4 ของรอยโรคผิวหนังผ่านการพิสูจน์ชั้นเนื้อและมีรูปภาพที่ผ่านการพิสูจน์มะเร็งผิวหนังด้วยวินิจัยชั้นเนื้อแล้วทั้งหมด[26]ดังในข้อมูลตารางที่ 2และรูปตัวอย่างของโรคแต่ละชนิดดังรูปประกอบที่ 10

ตารางที่ 2.จำนวนรูปภาพและเปอร์เซ็นต์ของการตรวจชิ้นเนื้อ

Types ofSkin Lesion	จำนวน	Biopsy	ประเภทของโรค
Basal Cell Carcinoma of skin	845	100%	โรคมะเร็งผิวหนัง
Squamous Cell Carcinoma	192	100%	
Malignant Melanoma	52	100%	
Actinic Keratosis	730	24.4%	โรคผิวหนัง
Melanocytic Nevus of Skin	244	24.6%	

Types of Skin Lesion	จำนวน	Biopsy	ประเภทของโรค
Seborrheic Keratosis	235	6.4%	
Total	2298	58.4%	



รูปที่ 10. ตัวอย่างโรคผิวหนังแต่ละประเภทจากชุดข้อมูล

ซึ่งผู้เก็บข้อมูลมีเป้าหมายที่จะสนับสนุนการวิจัยในอนาคตและการพัฒนาเครื่องมือใหม่ๆ เพื่อช่วยเหลือแพทย์ในการตรวจหา มะเร็งผิวหนัง

6. การทดลองและการประเมินผล

จากการดำเนินการตามบทวิจัยวินิจัยมะเร็งผิวหนังจากภาพถ่ายโทรศัพท์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ โดยการนำทุกระบวนการของการดำเนินการวิจัยเพื่อวัดประสิทธิภาพและประเมินผลมีการนำเสนอข้อมูลดังนี้

6.1 การเตรียมความพร้อมของภาพ

จากการชุดข้อมูลภาพโรคผิวหนัง PAD-UFES-20ซึ่งมีการเตรียมความพร้อมของภาพ เพื่อจัดระเบียบและปรับปรุงคุณภาพของรูปที่จะนำมาใช้งานซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้โมเดลที่สร้างขึ้น

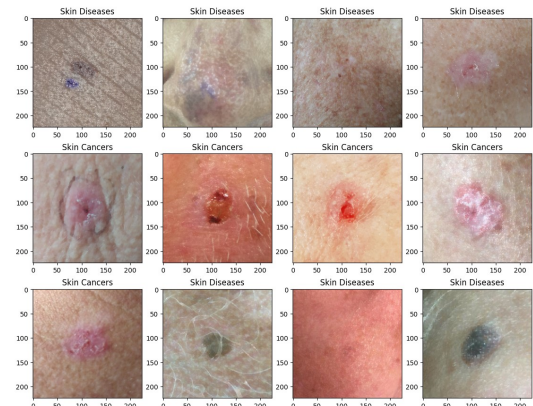
ให้สามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยในการเตรียมความพร้อมของภาพจากหัวข้อ3.1 ขั้นตอนของการประมวลผลภาพ โดยหลังจากทำทุกขั้นตอนที่ได้กล่าวปรากฏผลลัพธ์ดังนี้

การแบ่งชุดข้อมูล จัดกลุ่มประเภทโรคซึ่งโดยเริ่มต้นจะมีโรคผิวหนังจำนวน 6 ชนิด ทำการจัดแบ่งกลุ่ม เหลือโรคจำนวนสองชนิด เป็นมะเร็งผิวหนังกับไม่เป็นมะเร็งผิวหนังสำหรับการสร้างโมเดลการวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ ได้ดังรูปที่ 12และรูปที่ 13 เป็นการลบสิ่งรบกวน เช่น เส้นขน เงามและปรับขนาดภาพ

	img_name	img_id	diagnostic	type	U-Net_type
0	PAT_1516_1765_530	PAT_1516_1765_530.png	NEV	Skin Diseases	Skin Diseases
1	PAT_46_881_939	PAT_46_881_939.png	BCC	Skin Cancers	BCC
2	PAT_1545_1867_547	PAT_1545_1867_547.png	ACK	Skin Diseases	Skin Diseases
3	PAT_1989_4061_934	PAT_1989_4061_934.png	ACK	Skin Diseases	Skin Diseases
4	PAT_684_1302_588	PAT_684_1302_588.png	BCC	Skin Cancers	BCC
...	...	...	...	...	...
2293	PAT_1708_3156_175	PAT_1708_3156_175.png	ACK	Skin Diseases	Skin Diseases
2294	PAT_46_880_140	PAT_46_880_140.png	BCC	Skin Cancers	BCC
2295	PAT_1343_1217_404	PAT_1343_1217_404.png	SEK	Skin Diseases	Skin Diseases
2296	PAT_326_690_823	PAT_326_690_823.png	BCC	Skin Cancers	BCC
2297	PAT_1714_3189_989	PAT_1714_3189_989.png	SEK	Skin Diseases	Skin Diseases

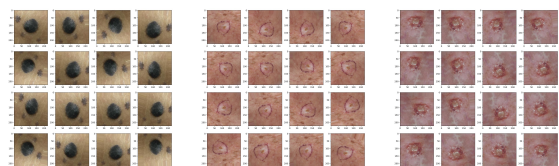
2298 rows x 5 columns

รูปที่ 12. ตัวอย่างข้อมูลที่ผ่านการจัดกลุ่มประเภทของโรคใหม่



รูปที่ 13. ตัวอย่างภาพผ่านการลบสิ่งรบกวนและปรับขนาดภาพเป็น 224x224

ส่วนการเพิ่มจำนวนภาพที่เตรียมไว้ ผ่านกระบวนการจัดแต่งให้ได้รูปใหม่ๆ ดังในการตั้งค่าจากหัวข้อที่3.2 แสดงได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14. ตัวอย่างภาพที่ผ่านการเพิ่มจำนวนภาพ

6.2 การพัฒนาโมเดลสำหรับตรวจจับสนิมะเร็ง

การทดลองการประเมินผลการเปรียบเทียบโมเดลวินิจฉัยรูปภาพมะเร็งผิวหนัง (มะเร็ง/ไม่ใช่มะเร็ง) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการสถาปัตยกรรมต่างๆด้วยจำนวนการเรียนรู้ของโมเดลที่ 300 รอบ แสดงดังตารางดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 3 ถึงตารางที่ 6)

6.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลต่างกัน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจำแนกมะเร็งและไม่ใช่มะเร็งโดยใช้สถาปัตยกรรม CNN แตกต่างกันจำนวน 5 สถาปัตยกรรมดังต่อไปนี้ (i) EfficientNetB7 , (ii) Xception, (iii) DenseNet121, (iv) ResNet152V2 และ (v) VGG19 โดยการทดลองนี้กำหนดขนาด *Batch Size* ไว้ที่ 1 กำหนดการเรียนรู้ของโมเดลไว้ที่ 300 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ผลการทดสอบประเมินผลด้วยโมเดล CNN ต่างสถาปัตยกรรม ที่ Batch Size เท่ากับ 1

Architectures of CNN	Training		Validation	
	ACC	Loss	ACC	Loss
EfficientNetB7	0.5025	0.6932	0.4900	0.7001
Xception	0.7469	0.5268	0.7250	0.5540
ResNet152V2	0.7300	0.7670	0.7650	0.5900
DenseNet121	0.7150	0.6363	0.7850	0.4966
VGG19	0.6456	0.6256	0.6400	0.6167

จากตารางที่ 3 ได้ผลการทดสอบดังนี้ โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมสถาปัตยกรรม EfficientNetB7 มีค่าความแม่นยำ 49% มีค่าความการสูญเสียที่ 0.7001 โครงข่ายประสาทเทียม Xception ค่าความแม่นยำ 72.5% มีค่าความการสูญเสียที่ 0.725 โครงข่ายประสาทเทียม ResNet152V2 มีค่าความแม่นยำ 76.5% มีค่าความการสูญเสียที่ 0.59 โครงข่ายประสาทเทียม DenseNet121 ค่าความแม่นยำ 78.5% มีค่าความการสูญเสียที่ 0.4966 และโครงข่ายประสาทเทียม VGG19 ค่าความแม่นยำ 64% มีค่าความการสูญเสียที่ 0.6167

6.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Batch Size ต่างกัน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจำแนกมะเร็งและไม่ใช่มะเร็งโดยใช้สถาปัตยกรรม CNN แบบ DenseNet121 เพื่อทดลองขนาดของ Batch Size โดยในการทดลองนี้มีการกำหนดขนาด Batch Size ที่ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 ตามลำดับ โดยมีการกำหนดการเรียนรู้ของโมเดลไว้ที่ 300 รอบโดยเทคนิคการถ่ายโอนความรู้กับชุดข้อมูลรูปภาพมะเร็งผิวหนังที่ไม่ผ่านกระบวนการลบสิ่งรบกวนจากรูปภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบประเมินผลด้วยโมเดลสถาปัตยกรรม DenseNet121 ที่ Batch Size ต่าง ๆ

Batch Size	Training		Validation	
	ACC	Loss	ACC	Loss
1	0.7150	0.6363	0.7850	0.4966
2	0.7269	0.6263	0.7575	0.5246
4	0.7419	0.5814	0.7700	0.4864
8	0.7181	0.6230	0.7375	0.6423
16	0.7000	0.7368	0.7050	0.6100
32	0.6538	0.9359	0.7175	0.7287

จากตารางที่ 4 แสดงผลประสิทธิภาพโมเดลจากการปรับเปลี่ยน Batch Size ที่ขนาด 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 โครงสร้างสถาปัตยกรรม DenseNet121 ด้วยจำนวนการเรียนรู้ของโมเดล 300 รอบด้วยเทคนิคการถ่ายโอนความรู้กับชุดข้อมูลรูปภาพมะเร็งผิวหนังที่ไม่ได้ผ่านการลบสิ่งรบกวนออกจากรูปภาพและด้วยผลโมเดลให้ผลประสิทธิภาพที่ดี คือโครงข่ายประสาทเทียมสถาปัตยกรรม DenseNet121 มีขนาด Batch Size เท่ากับ 1 ให้ผลประสิทธิภาพที่ 78.5%

6.2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลต่างชุดกัน

ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2 การลบสิ่งรบกวน เพื่อทดลองประสิทธิภาพของการทำนายโดยใช้ภาพต้นฉบับ และภาพที่มีการประมวลผลด้วยอัลกอริทึม DigitalHairRemoval โดยการทดลองชุดนี้ใช้โครงสร้างสถาปัตยกรรม DenseNet121 ด้วยจำนวนการ

เรียนรู้ของโมเดล 300 รอบ กำหนดขนาด Batch Size เท่ากับ 1 ซึ่งแสดงผลประสิทธิภาพดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5. ผลการทดสอบประเมินผลด้วยโมเดลสถาปัตยกรรม DenseNet121 ที่ Batch Size เท่ากับ 1 ผ่านการลบสิ่งรบกวน เส้นผม เส้นขน ด้วยอัลกอริทึม DigitalHairRemoval

การลบสิ่งรบกวน	Training		Validation	
	ACC	Loss	ACC	Loss
Original Image	0.7150	0.6363	0.7850	0.4966
Digital Hair Removal	0.7356	0.5597	0.7600	0.4853

ผลการทดลองตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโมเดลสถาปัตยกรรมDenseNet121ที่ Batch Size เท่ากับ 1 ที่ผ่านการลบสิ่งรบกวนสำคัญ ๆ เช่น เส้นผม เส้นขน ด้วยเทคนิค DigitalHairRemoval ส่งผลให้มีค่าความแม่นยำที่ลดลงจากเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพโมเดล DenseNet121 ที่ขนาด Batch Size เท่ากับ 1 ในก่อนหน้าซึ่งไม่ได้ผ่านการลบสิ่งรบกวน

6.2.4 การปรับจูนถ่ายโอนความรู้ ร่วมกับเทคนิค Fine Tuning

จากตารางที่ 3 ถึง 5 สรุปได้ว่าผลการทดลองการประเมินผล การเปรียบเทียบ โมเดลวินิจฉัยรูปภาพมะเร็งผิวหนัง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการ ได้ให้ผลลัพธ์แก่โมเดลที่มีประสิทธิภาพดีในรูปแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม DenseNet121 ที่มี Batch Size เท่ากับ 1 ด้วยชุดข้อมูลที่ผ่านลบสิ่งรบกวนที่สำคัญ ๆ ออกจากภาพ ร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนความรู้ และการปรับจูนเรียนรู้กับข้อมูลชุดใหม่ โดยมีการยกเลิกการตรึงชั้นการอัปเดตน้ำหนักที่ร้อยละ 80 ของโครงข่ายสถาปัตยกรรม DenseNet121 ในการเรียนรู้เกี่ยวกับชุดข้อมูลโรคมะเร็งผิวหนัง โมเดลสามารถจะเรียนรู้และมีค่าความถูกต้องมากถึง 81.50% และมีค่าความสูญเสียที่ 0.6750ดังแสดงในตารางที่6

ตารางที่ 6. ผลการทดสอบประเมินผล ด้วยโมเดลสถาปัตยกรรม DenseNet121ที่ Batch Sizeเท่ากับ 1 ด้วยการปรับจูนการเรียนรู้ถ่ายโอนความรู้ ร่วมกับการปรับParameters

Parameters	Training		Validation	
	ACC	Loss	ACC	Loss
Original Model	0.7150	0.6363	0.7850	0.4966
Fine-Tuning	0.9725	0.0654	0.8150	0.6750

7. สรุปผลการทดลองและการอภิปราย

จากการดำเนินการตามบทวิจยการวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังจากภาพถ่ายโทรศัพท์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสังวัตนาการในข้างต้นด้วยชุดข้อมูล PAD-UFES-20 จำนวนรูปภาพ1,600 รูป สำหรับการเรียนรู้และ400 รูปสำหรับการตรวจสอบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสถาปัตยกรรมDenseNet121, Xception, EfficientNetB7, ResNet152V2 และ VGG19ในการจำแนกรูปภาพมะเร็งผิวหนังด้วยเทคนิคการถ่ายทอดความรู้โมเดลร่วมกับแก้ไขปรับปรุงโมเดลหมวดหมู่ภาพที่เป็นมะเร็งผิวหนังกับไม่เป็นมะเร็งผิวหนังด้วยขนาด Batch Size ที่ต่างกันในแต่ละสถาปัตยกรรม โดยจากการทดลองความแม่นยำได้ผลลัพธ์ค่าความแม่นยำของโมเดลในการทำนายมีความแม่นยำมากที่สุดที่ 81.50%ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมDenseNet121ที่ขนาด Batch Size เท่ากับ 1และมีค่าความผิดพลาดของโมเดลที่ 18.5%ทั้งนี้จากการทำนายรูปภาพมีความแม่นยำค่อนข้างน้อยเนื่องด้วยจำนวนภาพที่มีอยู่อย่างจำกัดและจำนวนรูปภาพของมะเร็งผิวหนังแต่ละชนิดที่แตกต่างกันมาก ส่งผลให้โมเดลไม่สามารถเรียนรู้จากชุดข้อมูลตั้งต้นได้ย่อมมีประสิทธิภาพและด้วยกระบวนการเรียนรู้เชิงลึกจะมีปัญหาเรื่องใช้ระยะเวลาในการฝึกตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการที่ยาวนานและมีทั้งความซับซ้อนมีตัวแปร Weight จำนวนมากในการเริ่มต้นฝึกโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ซับซ้อนตั้งแต่ต้น Weight Initialization ด้วยค่า Random ที่ต้องใช้ข้อมูล

Dataset ขนาดใหญ่และใช้พลังการประมวลผลมหาศาล ซึ่งใช้
ระยะเวลานานหลายวัน หรือหลายสัปดาห์จึงได้โมเดลที่มี
ประสิทธิภาพ ดังนั้นเทคนิคการถ่ายโอนความรู้สามารถที่ช่วยลด
เวลา การฝึกสอนโมเดลเรียนรู้เชิงลึกด้วยการนำบางส่วนจาก
โมเดลที่ฝึกเรียบร้อยแล้วกับงานมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของโมเดล
ใหม่

สำหรับการพัฒนาต่อในอนาคตผู้วิจัยสามารถนำค้นแบบ
โมเดลที่ได้พัฒนาขึ้น ไปสร้างเป็นชิ้นงานแอปพลิเคชันบน
โทรศัพท์มือถือ(Mobile Application) ที่สามารถนำไปใช้งานได้
จริงในชีวิตประจำวันสำหรับการคัดกรองหรือวินิจฉัยโรคมะเร็ง
ผิวหนังในขั้นเบื้องต้น ด้วยภาพที่ใช้ในการตรวจจับเป็นภาพจาก
กล้องที่มือถือทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในอุปกรณ์พิเศษ และผู้ป่วย
ได้ผลการตรวจสอบรอยโรคที่เร็วยิ่งขึ้น เป็นผลให้ช่วยลดอัตรา
การเสียชีวิตของผู้ป่วยและลดภาระงานของแพทย์ รวมทั้งเป็น
เครื่องมือในการช่วยคัดกรองและวินิจฉัยมะเร็งผิวหนังร่วมกับ
แพทย์ผิวหนังได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] PuangthongKraipiboon, “มะเร็งผิวหนัง (Skin Cancer),” Haamor.com, Oct. 09, 2018. <https://haamor.com/มะเร็งผิวหนัง> (accessed Dec. 03, 2022).
- [2] MedThai, “มะเร็งผิวหนัง (Skin cancer) อาการ, สาเหตุ, การรักษา,” medthai.com, Jul. 23, 2022. <https://medthai.com/มะเร็งผิวหนัง> (accessed Dec. 03, 2022).
- [3] ThaiHealth Promotion Foundation, “คนไทยป่วยมะเร็งผิวหนัง,” thaihealth.or.th, Feb. 21, 2013. <https://www.thaihealth.or.th/คนไทยป่วยมะเร็งผิวหนัง/> (accessed Dec. 03, 2022).
- [4] Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, “การรักษา มะเร็งผิวหนังด้วย Mohs SIRIRAJ ONLINE | Siriraj Hospital,” si.mahidol.ac.th, Aug. 21, 2017. https://www.si.mahidol.ac.th/siriraj_online/thai_version/Health_detail.asp?id=28 (accessed Dec. 03, 2022).
- [5] Niall McCarthy, “Infographic: The Nationalities Most Susceptible To Skin Cancer,” Statista, Jul. 26, 2018. <https://www.statista.com/chart/14872/the-nationalities-most-susceptible-to-skin-cancer/> (accessed Dec. 03, 2022).
- [6] Bangkok Hospital Pattaya, “โรงพยาบาลกรุงเทพพัทยา : International Hospital in Thailand,” bangkokpattayahospital.com. <https://www.bangkokpattayahospital.com/th/> (accessed Dec. 03, 2022).
- [7] Klongthom tech, “Machine Learning กับ Deep Learning,” maggang.com, Oct. 10, 2020. <https://klongthomtech.maggang.com/machine-learning-กับ-deep-learning> (accessed Dec. 03, 2022).
- [8] KraisakKesorn, “โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะ (Artificial Neuron Network),” Jan. 2021. Accessed: Dec. 03, 2022. [Online]. Available: <https://csit.nu.ac.th/kraisak/ds/ds/chapter07/Chapter07.pdf>
- [9] PradyaSin, “What is Convolution Neural Network,” medium.com, Aug. 16, 2019. <https://medium.com/@pradyasin/what-is-convolution-neural-network-bf2e525089f5> (accessed Dec. 03, 2022).
- [10] A.-R. H. Ali, J. Li, and G. Yang, “Automating the ABCD Rule for Melanoma Detection: a Survey,” IEEE Access, vol. 8, no. 19658849, pp. 83333–83346, Apr. 2020, doi: 10.1109/access.2020.2991034.
- [11] S. Mane and S. Shinde, “A Method for Melanoma Skin Cancer Detection Using Dermoscopy Images,” 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), no. 18618066, Aug. 2018, doi: 10.1109/iccubea.2018.8697804.
- [12] A. G. C. Pacheco and R. A. Krohling, “The impact of patient clinical information on automated skin cancer detection,” Computers in Biology and Medicine, vol. 116, no. 103545, p. 103545, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.combiomed.2019.103545.

- [13] M. S. Ali, M. S. Miah, J. Haque, M. M. Rahman, and M. K. Islam, "An enhanced technique of skin cancer classification using deep convolutional neural network with transfer learning models," *Machine Learning with Applications*, vol. 5, no. 100036, p. 100036, Sep. 2021, doi:10.1016/j.mlwa.2021.100036.
- [14] I. Filali and M. Belkadi, "Multi-scale contrast based skin lesion segmentation in digital images," *Optik*, vol. 185, pp. 794–811, May 2019, doi: 10.1016/j.ijleo.2019.04.022.
- [15] S. Medhat, H. Abdel-Galil, A. E. Aboutabl, and H. Saleh, "Skin cancer diagnosis using convolutional neural networks for smartphone images: A comparative study," *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 262–267, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jrras.2022.03.008.
- [16] W. Li, A. N. Joseph Raj, T. Tjahjadi, and Z. Zhuang, "Digital hair removal by deep learning for skin lesion segmentation," *Pattern Recognition*, vol. 117, no. 107994, p. 107994, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.patcog.2021.107994.
- [17] A. Mahbod, G. Schaefer, I. Ellinger, R. Ecker, A. Pitiot, and C. Wang, "Fusing fine-tuned deep features for skin lesion classification," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 71, pp. 19–29, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.compmedimag.2018.10.007.
- [18] I. Giotis, N. Molders, S. Land, M. Biehl, M. F. Jonkman, and N. Petkov, "MED-NODE: A computer-assisted melanoma diagnosis system using non-dermoscopic images," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 19, pp. 6578–6585, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2015.04.034.
- [19] Sunny Shah, "DigitalHairRemoval," GitHub, Nov. 30, 2022. <https://github.com/sunnyshah2894/DigitalHairRemoval> (accessed Dec. 04, 2022).
- [20] SFU Professional Computer Science, "An Introduction to Convolutional Neural Network (CNN)," *medium.com*, Feb. 11, 2022. <https://medium.com/sfu-csmp/an-introduction-to-convolutional-neural-network-cnn-207cdb53db97> (accessed Dec. 03, 2022).
- [21] Sornpraram Xu, "รู้จักกับ EfficientDet หนึ่งในโมเดล Object Detection," *medium.com*, Feb. 24, 2021. <https://medium.com/super-ai-engineer/รู้จักกับ-efficientdet-หนึ่งในโมเดล-object-detection-cd0ac67f1f9b> (accessed Dec. 03, 2022).
- [22] Erik Westphal, "A Machine Learning Method for Defect Detection and Visualization in Selective Laser Sintering based on Convolutional Neural Networks," *researchgate.net*, Mar. 2021. https://www.researchgate.net/figure/Xception-CNN-architecture-for-the-detection-and-classification-of-powder-bed-defects-at_fig3_350319854 (accessed Dec. 03, 2022).
- [23] Shamim Mahbub, "DenseNet121 Model Implementation," *Medium*, Aug. 12, 2020. <https://medium.com/@shamim-mahbub230/densenet121-model-implementation-7c403c7e521b> (accessed Dec. 04, 2022).
- [24] NatthawatPhongchit, "มาทำความรู้จัก ResNet กันดีกว่า," *medium.com*, Mar. 18, 2020. <https://medium.com/@natthawatphongchit/มาทำความรู้จัก-resnet-กันดีกว่า-aec3a8c10793> (accessed Dec. 03, 2022).
- [25] Boyd BigData RPG, "เริ่มต้น Deep Learning Application ไปด้วยภาพวาดสไตล์ Doodle กันเถอะ !!," *medium.com*, Nov. 23, 2018. <https://medium.com/bigdataeng/เริ่มต้น-deep-learning-application-ไปด้วยภาพวาดสไตล์-doodle-กันเถอะ-c48561f2661b> (accessed Dec. 03, 2022).
- [26] A. G. C. Pacheco et al., "PAD-UFES-20: A skin lesion dataset composed of patient data and clinical images collected from smartphones," *Data in Brief*, vol. 32, no. 106221, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.106221.

CONTRIBUTORS' FORM

(to be modified as applicable and one signed copy attached with the manuscript)

Manuscript Title:

Author(s):

I/we certify that I/we have participated sufficiently in the intellectual content, conception and design of this work or the analysis and interpretation of the data (when applicable), as well as the writing of the manuscript, to take public responsibility for it and have agreed to have my/our name listed as a contributor. I/we believe the manuscript represents valid work. Neither this manuscript nor one with substantially similar content under my/our authorship has been published or is being considered for publication elsewhere, except as described in the covering letter. I/we certify that all the data collected during the study is presented in this manuscript and no data from the study has been or will be published separately. I/we attest that, if requested by the editors, I/we will provide the data/information or will cooperate fully in obtaining and providing the data/information on which the manuscript is based, for examination by the editors or their assignees. Financial interests, direct or indirect, that exist or may be perceived to exist for individual contributors in connection with the content of this paper have been disclosed in the cover letter. Sources of outside support of the project are named in the cover letter.

I/We hereby transfer(s), assign(s), or otherwise convey(s) all copyright ownership, including any and all rights incidental thereto, exclusively to the Journal, in the event that such work is published by the Journal. The Journal shall own the work, including 1) copyright; 2) the right to grant permission to republish the article in whole or in part, with or without fee; 3) the right to produce preprints or reprints and translate into languages other than English for sale or free distribution; and 4) the right to republish the work in a collection of articles in any other mechanical or electronic format.

We give the rights to the corresponding author to make necessary changes as per the request of the journal, do the rest of the correspondence on our behalf and he/she will act as the guarantor for the manuscript on our behalf.

All persons who have made substantial contributions to the work reported in the manuscript, but who are not contributors, are named in the Acknowledgment and have given me/us their written permission to be named. If I/we do not include an Acknowledgment that means I/we have not received substantial contributions from non-contributors and no contributor has been omitted.

	Name	Signature	Date signed	
1	_____	_____	_____	
2	_____	_____	_____	
3	_____	_____	_____	
4	_____	_____	_____	(up to 4 contributors for case report/images/review)
5	_____	_____	_____	
6	_____	_____	_____	(up to 6 contributors for original studies)

INFORMATION FOR AUTHORS

The Journal of Information Science and Technology (JIST) aims to be the forum through which researchers, faculties, graduate students and experts of the computer and information technology and other technological related fields share and discuss their high quality research work as well as innovation. Original research articles, practical applications and innovations in the broad area of computer and information technology are suitable for publication in JIST. Periodicity (Publication) is 2 issues per year (JAN - JUN and JULY - DECEMBER).

Accepted papers will be Double-blind peer reviewed by minimum 3 reviewers with "Accept" result.

1. Soft Computing
2. Human-Computer Interaction
3. Information Assurance and Security
4. Information Systems
5. Networking
6. Programming
7. Platform Technologies
8. System Integration and Architecture
9. Social and Professional Issues
10. Web Systems and Technologies
11. Multidisciplinary
12. e-Business and m-Business
13. Business and Information System
14. Social and Business Aspects of Convergence IT and Ubiquitous Computing
15. Internet of Things (IoT)
16. Cloud Computing
17. Fintech and blockchain

Manuscript Preparation Guide

The template for writing the journal is available for downloading (<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/>). Length of the paper should be in between 8-12 pages of A4 size. Text should be typewritten or printed with double-spaced in 11-point of A4 white paper with margins of 1.5" for top, 1.25" for left, and 1" for bottom and right sides. All pages must be numbered sequentially. Here are some guidelines.

- Abstract which length 100-200 words.
- Introduction which talks about the problem and related research.
- Materials and methods use for experimentation.
- Results of the experiment.
- Discussion and Conclusion, References

Submissions (Publication Charge: Free) (Indexed by TCI tier 2)

Please submit paper in MS Word via <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/> (Online Journal Submission)

Contact Address

The Association of Council of IT Deans (CITT)
140 Moo 1, Cheumsampan Road, Nongchok
Bangkok, Thailand 10530
Tel: 02-988-3655 ext 4115 Fax: 02-988-4027
E-mail: jist@citt.or.th