



โกลด์ฟิชเมท : ตู้ปลาทองอัจฉริยะพร้อมระบบตรวจจับโรค

Goldfish Mate: Smart Goldfish Tank with Disease Detection

ณัฐกฤตา สงกรานต์¹ จิราพัชร ลือเฟื่อง¹ วรณชิต อินคำเชื้อ¹ ธนภัทร ตาดทอง¹ กฤตคม ศรีจิรานนท์^{1*}

Natkrita Songkran¹, Jiraphat Luefueang^{1*}, Waranchit Inkhamchuea¹, Thanapat Tardtong¹,

Krittakom Srijiranon^{1*}

¹หน่วยวิจัยด้านนวัตกรรมข้อมูลและปัญญาประดิษฐ์แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

¹Thammasat University Research Unit in Data Innovation and Artificial Intelligence, De-partment of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ

รับเมื่อ: 14 เมษายน 2568

แก้ไขเมื่อ: 17 มิถุนายน 2568

ตอบรับเมื่อ: 18 มิถุนายน 2568

เผยแพร่ออนไลน์:

19 มิถุนายน 2568

คำสำคัญ

ตู้ปลาทองอัจฉริยะ

การตรวจจับโรคในปลาทอง

โยโลวีเจ็ต

บทคัดย่อ

ปลาทองเป็นปลาเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมสูงจากความดูแลง่ายและใช้พื้นที่เลี้ยงน้อย อย่างไรก็ตาม ปลาทองยังมีความเสี่ยงต่อโรคที่พบบ่อย เช่น โรคจุดขาว โรคเลือดออก และโรคเกล็ดตั้ง โดยเฉพาะในกลุ่มผู้เลี้ยงมือใหม่ที่อาจขาดความรู้ในการดูแล งานวิจัยนี้เสนอ “โกลด์ฟิชเมท” (Goldfish Mate) ตู้ปลาทองอัจฉริยะที่สามารถตรวจจับโรคด้วยภาพจากเว็บแคมซึ่งส่งผ่านโมเดล YOLOv7 โดยมีค่า F1-score เท่ากับ 0.9147 โมเดลถูกฝึกด้วยจำนวน 500 Epochs และใช้เทคนิค 5-fold Cross Validation ระบบสามารถระบุชนิดของโรคและแจ้งเตือนพร้อมคำแนะนำเบื้องต้นผ่านไลน์แชทบอท ผู้เลี้ยงยังสามารถตรวจสอบคุณภาพน้ำเพื่อให้มั่นใจว่าสภาพแวดล้อมเหมาะสม โกลด์ฟิชเมทจึงเป็นเครื่องมือช่วยดูแลปลาทองอย่างแม่นยำและทันเวลา

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

อีเมล:

krittakom_s@sci.tu.ac.th

(กฤตคม ศรีจิรานนท์)

ARTICLE INFO

Article History

Received: 14 April 2025

Revised: 17 June 2025

Accepted: 18 June 2025

Available online:

19 June 2025

ABSTRACT

Goldfish are a popular economic fish due to their ease of care and minimal space requirements. However, they are still vulnerable to common diseases such as white spot disease, hemorrhagic septicemia, and dropsy, especially among novice keepers who may lack the knowledge to care for them properly. This research presents Goldfish Mate, an intelligent goldfish tank capable of detecting diseases using images from a

Keywords:

Smart Goldfish Tank
Goldfish Disease
Detection
Yolov7

Corresponding author*Email address:**

krittakom_s@sci.tu.ac.th
(K. Srijiranon)

webcam, which are processed by a YOLOv7 model. The model achieved an F1-score of 0.9147 and was trained over 500 epochs using 5-fold cross-validation. The system can identify diseases and send alerts with initial treatment suggestions via a LINE chatbot. Additionally, users can monitor water quality to ensure a suitable environment. Goldfish Mate is therefore an effective tool for accurate and timely goldfish health management.

1. บทนำ

ปัจจุบันปลาสวยงามได้รับความนิยมทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยปลาสวยงามที่มีการส่งออกเป็นจำนวนมากถือว่าเป็นปลาเศรษฐกิจ ซึ่งปลาทองเป็นหนึ่งในปลาเศรษฐกิจที่มีการส่งออกเป็นลำดับต้น ๆ สาเหตุที่ปลาทองได้รับความนิยมคือ ดูแลง่าย ใช้พื้นที่ในการเลี้ยงน้อย และให้ความเพลิดเพลินแก่ผู้เลี้ยง [1] แม้ปลาทองจะดูแลง่ายแต่ มักจะประสบปัญหาสุขภาพที่เกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น การติดเชื้อจากแบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัสหรือปรสิต รวมไปถึงคุณภาพของน้ำ อุณหภูมิของน้ำและปริมาณอาหารที่ไม่เหมาะสมกับปลาทอง โดยโรคที่พบได้บ่อยได้แก่ โรคจุดขาว โรคเลือดออกตามซอกเกล็ด และโรคเกล็ดตั้ง [2]

โรคจุดขาวมีลักษณะเป็นจุดสีขาวขนาดเล็ก คล้ายกับมีเม็ดเกลือมาติด โดยกระจายทั่วบริเวณลำตัวและครีบ เกิดจากปรสิตที่ชื่อว่า *Ichthyophthirius Multiliis* หรือเรียกว่า โรคอิค โดยปรสิตจะเข้าไปอาศัยใต้ผิวหนังของปลา และขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วและนำไปสู่การเกิดโรคเลือดออกตามซอกเกล็ด ในส่วนของโรคเลือดออกตามซอกเกล็ด ลักษณะมีแผลที่คล้ายกับเลือดคั่งในตัวปลา พบได้ทั่วลำตัวโดยเฉพาะบริเวณครีบและซอกเกล็ด สาเหตุของโรคนี้คือปรสิตชื่อ *Epistylis* และโรคเกล็ดตั้ง ลักษณะบริเวณเกล็ดจะตั้งขึ้นมากผิดปกติจนสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าและพบจุดแดงทั่วตัวปลาทอง ซึ่งเกิดหลังจากปลาทองป่วยโรคท้องบวม หรืออาจเกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย [2] การเกิดโรคในปลาทองเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยครั้ง หากคุณภาพของน้ำไม่เหมาะสมกับปลาทองจะส่งผลให้ปลาทองมีภูมิคุ้มกันต่ำลงทำให้เกิดอาการป่วยที่เกิดจากปรสิตหรือแบคทีเรียที่เติบโตได้ดีในน้ำที่มีคุณภาพน้ำต่ำ เช่น ปรสิตที่ชื่อ อีพ ที่เรียส มัลติฟิสิส ที่เป็นสาเหตุของโรคจุดขาวจะเติบโตได้ดีในตู้ปลาที่มีคุณภาพน้ำที่ไม่ดี และสามารถนำไปสู่การตายหากรักษาไม่ทันช่วงที่

จากการสอบถามข้อมูลจากร้านขายปลาสวยงามในจังหวัดลำปางเกี่ยวกับชนิดปลาสวยงามที่ได้รับความนิยมในการนำไปเลี้ยงและโรคที่พบบ่อยในปลาชนิดนั้น พบว่าปลาทองเป็นหนึ่งในปลาสวยงามที่นิยมนำไปเลี้ยงและโรคดังกล่าวทั้ง 3 โรค เป็นโรคที่พบบ่อยในปลาทอง ซึ่งต้องสังเกตอาการผิดปกติของปลาทองด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็นปัญหาต่อผู้ที่เริ่มเลี้ยงปลาทอง เนื่องจากไม่สามารถระบุอาการป่วยหรือชนิดของโรคในปลา

ทองได้อย่างถูกต้องตั้งแต่ระยะแรก จึงทำให้การรักษาล่าช้าหรือเกิดความคลาดเคลื่อนในการรักษา เมื่อปลาทองป่วยต้องรีบรักษาให้ถูกต้องทันที หากไม่ทำการรักษาและปล่อยให้อยู่ร่วมกับปลาทองตัวอื่น สามารถส่งผลให้ปลาทองตัวอื่นติดเชื้อไปด้วยได้ และจำเป็นต้องสังเกตอาการของปลาทองที่เริ่มป่วย จะมีอาการซึม วายน้ำขุ่นหรือไม่วายน้ำ หากรักษาไม่ทันสามารถนำไปสู่การตายของปลาทอง [2]

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาตู้ปลาทองอัจฉริยะที่สามารถตรวจหาโรคจุดขาว, โรคเลือดออกตามซอกเกล็ด และโรคเกล็ดตั้ง โดยมีการแจ้งเตือนเมื่อพบปลาทองเป็นโรคให้กับผู้เลี้ยงปลาทอง เพื่อสามารถบ่งบอกโรคที่เกิดขึ้นและสถานะสุขภาพของปลาทอง ณ เวลานั้น ๆ ผ่านรูปภาพที่ได้ทำการติดตั้งไว้แล้วประมวลผลผ่านโมเดลตรวจจับโรคที่ฝึกฝนด้วยโยโลวีเจ็ด ซึ่งเป็นโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ที่มีความสามารถในการตรวจจับวัตถุด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยการกำหนดขอบเขตของวัตถุที่สนใจ และมีจุดเด่นในการตรวจจับวัตถุที่รวดเร็วและมีความแม่นยำ [3] และวินิจฉัยโรคที่เกิดขึ้นว่าเป็นโรคที่ได้กล่าวในข้างต้นหรือไม่ แล้วส่งผลการประมวลผลของโมเดลตรวจจับโรคผ่านการแจ้งเตือนผ่านทางไลน์แชทบอท นอกจากนี้ไลน์แชทบอทยังมีฟังก์ชันการตรวจสอบคุณภาพของน้ำและฟังก์ชันการตรวจสอบสถานะสุขภาพของปลาทอง ที่จะเข้ามาช่วยเพิ่มความสะดวกสบายของผู้เลี้ยงในการดูแลปลาทอง

2. ทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยนี้ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดย Medina et al. (2023) [4] งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ไขปัญหาโรคในปลาทอง โดยวินิจฉัยโรคปลาทอง 3 โรค ได้แก่ โรคเชื้อรา (Fish Fungus) โรคเหา (Fish Lice) และโรคจุดขาว (White Spot Disease: WSD) ในระบบมีการติดตั้งกล้องเพื่อบันทึกรูปภาพ การเคลื่อนไหว และพฤติกรรมการรับประทานอาหารของปลา ที่ประมวลผลผ่านอัลกอริทึม โดยมีความแม่นยำที่ 91.4286% แต่ถ้านระบบไม่สามารถตรวจพบโรคที่เกิดขึ้นในระยะแรกจะส่งผลถึงการตายของปลาทุกตัวในตู้ปลาได้

งานวิจัย Shamsulbahrin, และ Ahmad (2022) [5] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหการตายของสิ่งมีชีวิตในทะเล เช่น กุ้ง และปลา โดยทำให้ทราบค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิของน้ำ และความเหมาะสมของระดับน้ำ งานวิจัยนี้มีแอปพลิเคชันชื่อว่า บลิงก์ (Blynk) โดยระบบการทำงานใช้บอร์ดอาดูอิน (Arduino) เชื่อมต่อกับโหนดเอ็มซียู (NodeMCU) ESP8266 และเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเซ็นเซอร์วัดแก๊สแอมโมเนีย โดยสามารถอ่านค่าได้บนแอปพลิเคชันแก้ปัญหการตายของสิ่งมีชีวิตในทะเลไม่ได้มีสาเหตุเพียงแต่จากคุณภาพน้ำเท่านั้น แต่มีสาเหตุอื่น ๆ ด้วย เช่น ปัญหาทางสุขภาพของสิ่งมีชีวิต ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่ได้ครอบคลุมสาเหตุในส่วนนี้ที่เป็นหนึ่งในปัจจัยการตายของสิ่งมีชีวิตในทะเลได้ครบถ้วน

งานวิจัย Azhar et al. (2024) [6] งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับปลาที่ติดเชื้อโปรโตซัวที่ก่อให้เกิดโรคจุดขาวในปลาทั่วไป โดยใช้ชุดข้อมูลภาพปลาในน้ำจำนวน 3,000 ภาพและฝึกฝนโมเดลผ่านกูเกิลเน็ต (GoogleNet) เพื่อชี้ลักษณะของโปรโตซัวในโรคจุดขาว งานวิจัยนี้มีความแม่นยำที่ 90% แต่สามารถระบุโรคได้ในระยะแรกเท่านั้น

งานวิจัย Vo et al. (2021) [7] งานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เพื่อฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ที่เรียนรู้ลักษณะของปลา เช่น การวัดขนาด นับจำนวนปลา ตรวจหาโรคทั่วไปและจำแนกสายพันธุ์ปลาผ่านกล้องที่ติดตั้งไว้และเก็บรูปภาพให้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ลักษณะต่างๆของปลา แต่งานวิจัยนี้ถูกพัฒนาโดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการเพาะพันธุ์ปลา

จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า การใช้ชุดข้อมูลต่าง ๆ ทำการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ด้วยอัลกอริทึม YOLO ในการวินิจฉัยโรคเชื้อรา โรคเหา โรคจุดขาวในปลาทอง การแก้ปัญหการตายของสิ่งมีชีวิตในทะเล ที่เกิดจากค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิของน้ำ ผ่านแอปพลิเคชันที่ชื่อ บลิงก์ ในแสดงค่าที่วัดจากอาดูอิน เชื่อมต่อกับโหนดเอ็มซียู ESP8266 และเซนเซอร์วัดค่าแก๊สแอมโมเนีย แต่สาเหตุการตายของสิ่งมีชีวิตในทะเลมีสาเหตุอื่นร่วมด้วย การตรวจจับปลาที่ติดเชื้อโปรโตซัว โดยการใช้ชุดข้อมูลภาพปลาในน้ำ 3,000 ภาพ และฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ด้วยกูเกิลเน็ต ซึ่งมีความแม่นยำ 90 เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อจำกัดคือสามารถระบุโรคจุดขาวในระยะเริ่มต้นเท่านั้น และการใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมในการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ที่เรียนรู้ลักษณะของปลา เช่น การวัดขนาด ตรวจหาโรคทั่วไปและจำแนกสายพันธุ์ปลา แต่งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการเพาะพันธุ์ปลา จากงานวิจัยที่ได้ทำการค้นคว้าในข้างต้นพบว่าจะมีการใช้ชุดข้อมูลในการฝึกฝนปัญญาประดิษฐ์ เพื่อใช้ในการตรวจจับภาพปลาที่ถ่ายจากกล้อง แต่ทั้งนี้งานวิจัยที่กล่าวไปข้างต้นไม่ได้มีจุดประสงค์ในการพัฒนางานวิจัยในการตรวจสอบโรคที่มักพบเจอได้บ่อยในปลาทองได้แก่ โรคจุดขาว โรคเลือดออกตามซอกเกล็ดและโรคเกล็ดตั้ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตู้ปลาอัจฉริยะสำหรับการดูแลปลาทองโดยเฉพาะ และการตรวจจับปลาทองที่เป็นโรคจุดขาว โรคเลือดออกตามซอกเกล็ด และโรคเกล็ดตั้ง จากรูปภาพที่ถ่ายจากกล้องเว็บแคมที่ติดตั้งไว้ด้วยโมเดลตรวจจับโรคที่ฝึกฝนผ่านโมเดลโยโลวีเจ็ด และวินิจฉัยโรคที่เกิดขึ้นว่าเป็นโรคที่ได้กล่าวในข้างต้นหรือไม่ แล้วส่งผลการประมวลผลของโมเดลตรวจจับโรคผ่านการแจ้งเตือนผ่านทางไลน์แชทบอท นอกจากนี้ไลน์แชทบอทยังมีฟังก์ชันการตรวจสอบคุณภาพของน้ำและฟังก์ชันการตรวจสอบสถานะสุขภาพของปลาทอง ที่จะเข้ามาช่วยเพิ่มความสะดวกสบายของผู้เลี้ยงในการดูแลปลาทอง

3. เทคนิคหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1. โยโลวีเจ็ด (YOLOv7)

โยโลวีเจ็ดเป็นอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นที่รู้จักในด้านการตรวจจับวัตถุด้วยคอมพิวเตอร์ จุดเด่นของโมเดลนี้คือมีขนาดเล็กแต่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าในด้านอื่น ๆ มีความรวดเร็วกว่าโมเดลรุ่นอื่น ๆ มีความแม่นยำสูง โดยสามารถตรวจจับวัตถุด้วยการกำหนดขอบเขตของวัตถุที่สนใจภายในกรอบที่ต้องการฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลของตนเองได้ [3] โยโลวีเจ็ดเป็นอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นที่รู้จักในด้านการตรวจจับวัตถุด้วยคอมพิวเตอร์ จุดเด่นในโยโลเวอร์ชันนี้คือเป็นโมเดลที่มีขนาดเล็กแต่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าในด้านอื่น ๆ มีความรวดเร็วกว่าโมเดลรุ่นอื่น ๆ มีความแม่นยำสูง โดยสามารถตรวจจับวัตถุด้วยการกำหนดขอบเขตของวัตถุที่สนใจภายในกรอบที่ต้องการฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลของตนเองได้ [3]

3.2. การเสริมข้อมูล (Data Augmentation)

เทคนิคการเสริมข้อมูลเป็นกระบวนการในสร้างข้อมูลโดยเพิ่มจำนวนจากข้อมูลที่มีอยู่ในชุดข้อมูล โดยมีการสำเนาข้อมูลเดิมและนำมาปรับแต่งข้อมูลให้มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อใช้ในการฝึกฝนโมเดลให้มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำที่สูงขึ้น ช่วยแก้ปัญหการเกิดโอเวอร์ฟิตติง (Over Fitting) ของโมเดลที่อาจเกิดขึ้นได้ [8]

3.3. การตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

ความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่อยู่ในภาพผ่านการรับค่าที่ได้จากกล้องที่ถูกติดตั้งไว้ โดยติกรอบวัตถุเพื่อกำหนดขอบเขตของวัตถุแบบเฉพาะเจาะจง (Bounding Box) และจำแนกคลาส (Class) ที่เราสนใจ ว่าวัตถุที่ตรวจจับคืออะไร เป็นสิ่งที่สำคัญในการทำงานในการฝึกฝนระบบปัญญาประดิษฐ์ [9]

3.4. การตรวจสอบแบบวนซ้ำ K รอบ (K-fold Cross Validation)

การตรวจสอบแบบวนซ้ำ K รอบ เป็นการประเมินความสามารถของโมเดลมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยมีการแบ่งข้อมูลออกเป็นใช้ในการฝึกฝน Training Set 80% และการทดสอบ Test Set 20% ออกเป็น K ชุด เพื่อดูว่าข้อมูลชุดไหนมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากที่สุด เพื่อป้องกันการโอเวอร์ ฟิตติง [10]

3.5. การประเมินผล

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการจำแนกโรคของปลาทองจะใช้ตัวชี้วัดมาตรฐาน 4 ตัวชี้วัด ได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score ตามสมการที่ (1) ถึง (4) ตามลำดับ เพื่อประเมินความสามารถของโมเดลในการตรวจจับโรคจากภาพถ่ายปลาทอง โดยกำหนดให้ TP แทน True Positive, TN แทน True Negative, FP แทน False Positive และ FN แทน False Negative

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

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

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

$$\text{F1-score} = \frac{2 \cdot \text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (4)$$

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1. การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์

การพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถตรวจจับโรคจุดขาว โรคเลือดออกตามชอกเกล็ด และโรคเกล็ดตั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

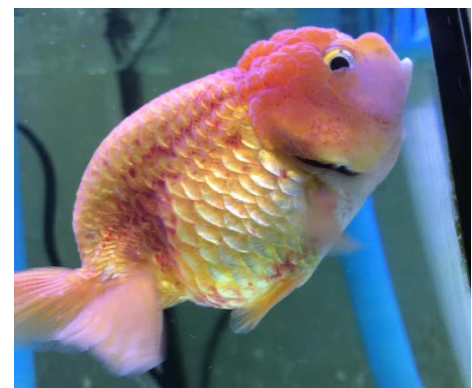
ขั้นตอนแรกคือการรวบรวมชุดข้อมูล (Data Set) งานวิจัยนี้ทำการเก็บรวบรวมชุดข้อมูลจากกลุ่มคนรักปลาทอง (Goldfish's Lover) ในเฟซบุ๊ก (Facebook) เนื่องจากสมาชิกภายในกลุ่มเป็นผู้เลี้ยงปลาทองมีการสอบถามเกี่ยวกับโรคของปลาทอง จึงได้เก็บรวบรวมชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย ภาพปลาทองปกติ จำนวน 100 ภาพ ภาพปลาทองที่เป็นโรคจุดขาวจำนวน 130 ภาพ ภาพปลาทองที่เป็นโรคเลือดออกตามชอกเกล็ดจำนวน 130 ภาพ และภาพปลาทองที่เป็นโรคเกล็ดตั้งจำนวน 119 ภาพ รวมทั้งหมดมีจำนวน 479 ภาพ และทำการกำหนดคลาสของชุดข้อมูลออกเป็น 4 คลาส ดังนี้ ปลาทองปกติ, ปลาทองที่เป็นโรคจุดขาว ดังภาพที่ 1 (ก) ปลาทองที่เป็นโรคเลือดออกตามชอกเกล็ด ดังภาพที่ 1 (ข) และปลาทองที่เป็นโรคเกล็ดตั้ง ดังภาพที่ 1 (ค)

ขั้นตอนที่สองคือการเสริมข้อมูล เนื่องจากจำนวนข้อมูลในแต่ละคลาสมีความไม่สมดุล ทำให้ผลลัพธ์ในแต่ละคลาสมีประสิทธิภาพต่างกัน

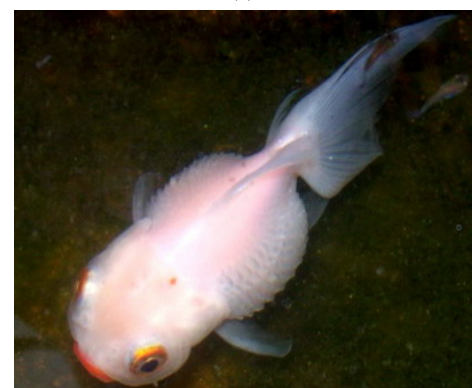
การเสริมข้อมูลจึงเป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลในงานวิจัยนี้ เราได้นำชุดข้อมูลที่เตรียมไว้มาใช้ในการเสริมข้อมูล โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อเพิ่มจำนวนภาพและจำลองให้คล้ายกับสภาพแวดล้อมจริงในตู้ปลา เทคนิคที่ใช้ในการเสริมข้อมูลประกอบด้วยการหมุนภาพ 90 องศา การปรับภาพให้เอียง, การเพิ่มความสว่าง และการเพิ่มข้อมูลรบกวน (Noise) ตามที่แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งทำให้จำนวนภาพทั้งหมดหลังการเสริมข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 885 ภาพ ชุดข้อมูลที่ได้จากการเสริมข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้ ภาพปลาทองปกติจำนวน 160 ภาพ, ภาพปลาทองที่เป็นโรคจุดขาวจำนวน 208 ภาพ, ภาพปลาทองที่เป็นโรคเลือดออกตามชอกเกล็ดจำนวน 208 ภาพ และภาพปลาทองที่เป็นโรคเกล็ดตั้งจำนวน 190 ภาพ โดยการเสริมข้อมูลนี้จะใช้เฉพาะชุดข้อมูล



(ก)



(ข)



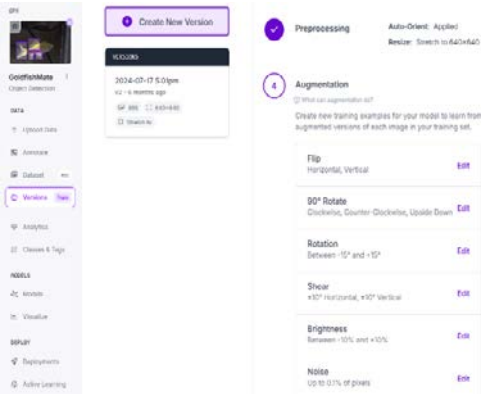
(ค)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างปลาทองที่เป็นโรคจุดขาวดังภาพ (ก) โรคเลือดออกตามชอกเกล็ด (ข) และโรคเกล็ดตั้ง (ค)

เกล็ดตั้งจำนวน 190 ภาพ โดยการเสริมข้อมูลนี้จะใช้เฉพาะชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝนเท่านั้น ซึ่งรวมทั้งหมดเป็นจำนวน 766 ภาพ สำหรับการฝึกฝน และจำนวน 96 ภาพ สำหรับการทดสอบ เนื่องจากจำนวนชุดข้อมูลเพิ่มขึ้นทุกวัน จึงได้เพิ่มข้อมูลดิบจำนวน 23 ภาพ ในคลาสปลาทองที่เป็นโรคจุดขาวและภาพปลาทองที่เป็นโรคเลือดออกตามซอกเกล็ด โรคละ 8 ภาพ และภาพปลาทองที่เป็นโรคเกล็ดตั้งจำนวน 7 ภาพ และแบ่ง 23 ภาพ สำหรับการฝึกฝนและการทดสอบ ทำให้ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝนมีจำนวน 708 ภาพ และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบมีจำนวน 177 ภาพ เนื่องด้วยข้อจำกัดของชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการพัฒนาโมเดลตรวจจับโรคในปลาทองเป็นชุดข้อมูลที่มีขนาดเล็กและเป็นภาพปลาทองที่เลี้ยงภายในตู้ปลาที่มีการตกแต่งภายในตู้ด้วยวัสดุต่าง ๆ อาจทำให้โมเดลตรวจจับโรคเกิดความสับสนระหว่างปลาทองกับของตกแต่งที่มีลักษณะหรือสีคล้ายคลึงกับปลาทองได้

ขั้นตอนที่สามคือการตรวจจับวัตถุ เป็นการสร้างโมเดลมาเพื่อตรวจหาโรคของปลาทองภายในรูปและระบุคลาสของโรคในปลาทองดังกล่าว โดยทำการตรวจจับโรคด้วยการใช้กล้องเว็บแคมที่ติดตั้งกับตู้ปลาและประมวลผลด้วยโมเดลโยโลวีเจ็ดที่ผ่านการฝึกฝนเพื่อใช้ตรวจจับโรค โดยโมเดลตรวจจับโรคจะทำการจำแนกปลาทองออกเป็น 4 คลาส และโมเดลตรวจจับโรคจะทำการกำหนดขอบเขตโรคของปลาทองในภาพที่กล้องได้ถ่ายไว้ พร้อมกับระบุค่าความมั่นใจในการทำนายโรคที่ตรวจพบและแสดงผลพร้อมในการตรวจจับโรคในปลาทอง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อัลกอริทึมโมเดล YOLOv7 และมีการกำหนดค่าการฝึกฝนโมเดลแสดงตามตารางที่ 1 โดยการฝึกฝนโมเดลตรวจจับโรคในปลาทองใช้เวลาประมาณ 12.437 ชั่วโมง โดยใช้อุปกรณ์ GPU NVIDIA Tesla T4 (15 GB VRAM) CUDA เวอร์ชัน 12.1 และ PyTorch เวอร์ชัน 2.3.1 จากระยะเวลาดังกล่าวได้รับผลกระทบจากความซับซ้อนของชุดข้อมูล เนื่องจากในบางกรณีมีการระบุขอบเขตของโรคในภาพหลายตำแหน่ง รวมถึงบางภาพมีการปรากฏของโรคมามากกว่าหนึ่งชนิด



ภาพที่ 2 การทำการเสริมข้อมูลของชุดข้อมูลที่เตรียมไว้

ภายในภาพเดียว ซึ่งส่งผลให้เวลาในการประมวลผลและฝึกฝนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ใช้จำนวนรอบในการฝึกฝนที่ค่อนข้างสูง

และดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลด้วยเทคนิค 5-Fold Cross Validation เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ครอบคลุมและน่าเชื่อถือ

4.2. วิธีการใช้งานไลน์แซทบอท

เมื่อผู้เลี้ยงปลาทองเพิ่มช่องทางการติดตามตู้ปลาของโกลด์ฟิชเมทบนแอปพลิเคชันไลน์ ที่มีชื่อว่าโกลด์ฟิชเมทเรียบร้อยแล้ว จะมีปุ่มเมนูทางลัด (Rich Menu) ปรากฏบนหน้าแชทซึ่งเป็นตัวช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถพิมพ์คำสั่งเพื่อใช้งานฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ของไลน์แซทบอทโกลด์ฟิชเมท ดังภาพที่ 3

โดยไลน์แซทบอทมีฟังก์ชันการทำงานที่จะเพิ่มความความสะดวกสบายให้แก่ผู้เลี้ยงปลาทองทั้งหมด 3 ฟังก์ชัน ดังนี้

ฟังก์ชันที่ 1 การแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบโรค โดยจะทำงานเมื่อโมเดลตรวจจับโรคประมวลผลภาพจากกล้องที่ติดตั้งไว้กับตู้ปลา พบปลาทองที่เป็นโรคจุดขาว โรคเลือดออกตามซอกเกล็ด หรือโรคเกล็ดตั้ง จะทำการแจ้งเตือนให้ผู้เลี้ยงทราบในทันที พร้อมแนะนำแนวทางการรักษาในเบื้องต้น และคำแนะนำเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคภายในตู้ปลา ดังภาพที่ 4

ฟังก์ชันที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ เป็นฟังก์ชันที่ช่วยให้ผู้เลี้ยงสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำภายในตู้ปลา ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะช่วยในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนค่าต่างๆของน้ำในตู้ปลาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของปลาทองจะอยู่ที่ 21.0 – 26.7 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 6.7 – 7.5 [11] [12] สำหรับวิธีการใช้งานฟังก์ชันตรวจสอบคุณภาพน้ำ สามารถทำได้ 2 รูปแบบ

ตารางที่ 1 การกำหนดค่า Hyperparameters

พารามิเตอร์	ค่า
Learning rate	0.001
Momentum	0.937
Weight decay	0.0005
Warmup epochs	3
Batch Size	16
จำนวน Epochs	500
ขนาดภาพ	640 × 640 พิกเซล

คือ คลิกที่เมนูทางลัดทางด้านซ้าย (Water Quality) หรือพิมพ์ข้อความ “ตรวจสอบคุณภาพน้ำ” ดังภาพที่ 5

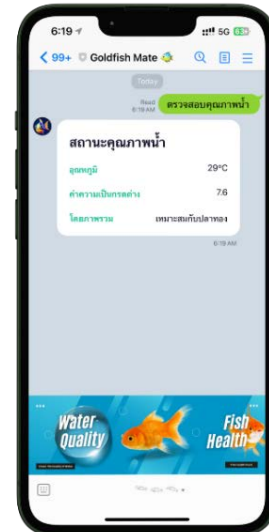
ฟังก์ชันที่ 3 การตรวจสอบสถานะสุขภาพปลาทอง เป็นฟังก์ชันที่ช่วยให้ผู้เลี้ยงปลาทองสามารถติดตามและดูแลสุขภาพของปลาทอง ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่ถ่ายจากกล้องที่ทำการติดตั้งไว้กับตู้ปลาและโมเดลตรวจจับโรคจะทำหน้าที่ประมวลผล ซึ่งผู้เลี้ยงสามารถตรวจสอบสุขภาพปลาทองได้ตลอดเวลาผ่านแอปพลิเคชันไลน์ วิธีการใช้งานฟังก์ชันตรวจสอบสถานะสุขภาพปลาทองทำได้ 2 รูปแบบคือคลิกที่เมนูทางลัดทางด้านขวา (Fish Health) หรือพิมพ์ข้อความ “ตรวจสอบสถานะสุขภาพของปลาทอง” ดังภาพที่ 6



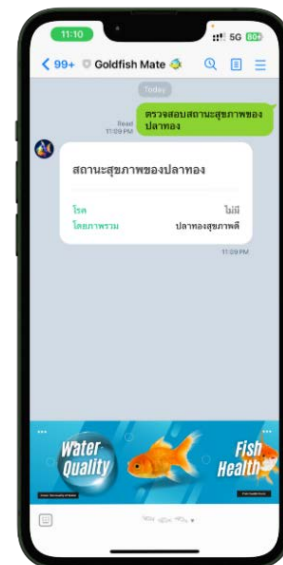
ภาพที่ 3 หน้าเริ่มต้นของไลน์แชทบอทโกลด์ฟิชเมท



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการแจ้งเตือนเมื่อมีการตรวจพบโรค



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการตรวจสอบคุณภาพน้ำในตู้ปลา



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการตรวจสอบสถานะสุขภาพของปลาทอง

4.3. การทำงานของฮาร์ดแวร์

การทำงานของฮาร์ดแวร์ในตู้ปลาทองอัจฉริยะโกลด์ฟิชเมทแสดงตามภาพที่ 4 ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะเป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานด้วยราสเบอร์รี่พาย (Raspberry PI) เพื่อควบคุมกล้องเว็บแคม (Web Camera) เพื่อถ่ายภาพปลาทองและส่งรูปภาพไปยังคลาวด์สตอเรจเพื่อรอให้คลาวด์ฟังก์ชันซึ่งทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ส่งภาพไปยังโมเดลตรวจจับโรคทำการประมวลผล และส่วนที่สองคือส่วนที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 Wroom ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. โมดูลวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH Sensor E-201-C) และ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Sensor DS18B20) ใช้สำหรับการวัดค่าความ

เป็นกรดต่างและวัดอุณหภูมิของน้ำในตู้ปลาส่งค่าอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างของน้ำที่วัดได้บันทึกบนฐานข้อมูลคลาวด์แบบเรียลไทม์

2. อุปกรณ์ให้อาหารปลาอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์ให้อาหารปลาที่สามารถทำงานอัตโนมัติตามเวลาที่กำหนดเอาไว้และให้อาหารปลาทองในปริมาณที่เท่ากันในทุกครั้ง

3. เครื่องกรองสิ่งสกปรกในน้ำทำให้น้ำภายในตู้ปลามีความใสตลอดเวลา และการกรองสิ่งสกปรกต่าง ๆ ช่วยลดการเกิดสิ่งปฏิกูลที่เป็นหนึ่งในปัจจัยของการเกิดโรคจุดขาวในปลาทอง

4. หลอดไฟ การติดตั้งหลอดไฟทำหน้าที่ให้แสงสว่างภายในตู้ปลาสามารถเปิดปิดได้เมื่อผู้เลี้ยงปลาทองไม่ต้องการใช้งาน และเป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายภาพของกล้องในยามค่ำคืน

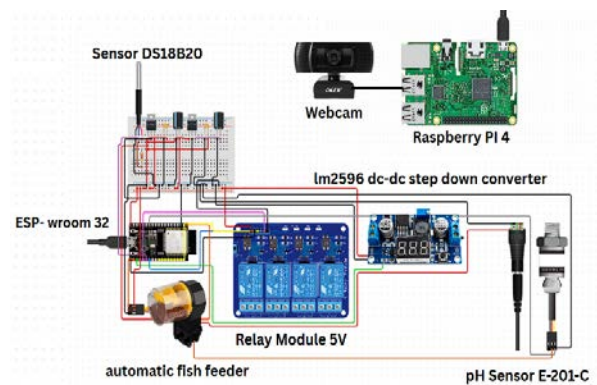
5. การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของโมเดลตรวจจับโรคแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดสอบของโมเดลตรวจจับโรค และผลทดสอบการนำไปใช้งานจริง

5.1. การทดลองของโมเดลตรวจจับโรคขั้นต้น

การทดสอบขั้นต้นเพื่อหาจำนวน Epoch ที่เหมาะสมกับการสร้างโมเดลโยโลวีเจ็ตเพื่อการจำแนกโรคในปลาทอง โดยใช้ชุดข้อมูลที่ประกอบไปด้วย ภาพปลาทองที่เป็นโรคจุดขาว จำนวน 130 ภาพ ปลาทองที่เป็นโรคเลือดออกตามซอกเกล็ด จำนวน 130 ภาพ และปลาทองที่เป็นโรคเกล็ดตั้ง จำนวน 119 ภาพ รวมทั้งหมด 479 ภาพ การแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 80% มาใช้ในการฝึกฝนโมเดล (Training Set) และ 20% ใช้สำหรับทดสอบโมเดล (Testing Set) ซึ่งได้ผลการทดลองของชุดข้อมูลทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 1 พบว่าการใช้ชุดข้อมูลต้นฉบับมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการทดสอบในการใช้ Epochs ต่าง ๆ โดยการใช้ Epochs จำนวน 500 มีค่า F1-score ที่สูงที่สุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นชุดข้อมูลแบบไม่สมดุล การใช้ค่า Accuracy จะไม่สามารถบอกประสิทธิภาพของโมเดลได้



ภาพที่ 7 การออกแบบของฮาร์ดแวร์

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเพิ่มข้อมูลในส่วนที่เป็นภาพพื้นหลังและของตกแต่งภายในตู้ปลาที่มีสีและลักษณะที่คล้ายกันทำให้โมเดลตรวจจับโรคเกิดการสับสนดังภาพที่ 8 โดยจากเมทริกซ์สับสน (Confusion Matrix) พบว่า คลาส goldfish_ich และ คลาส goldfish_septicemia แขนปลาทองที่เป็นโรคจุดขาวและโรคเลือดออกตามซอกเกล็ด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าโมเดลมีประสิทธิภาพในการจำแนกโรคไม่ดีมากพอ

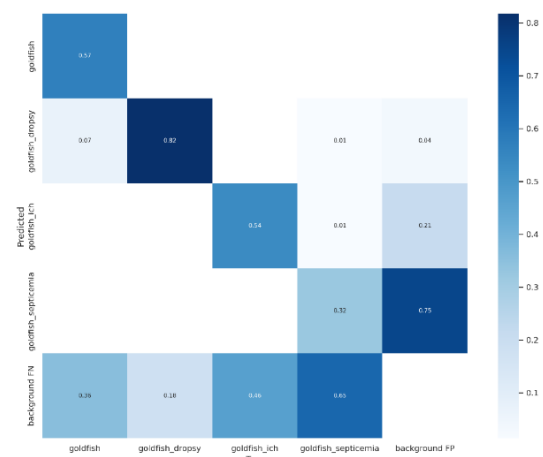
5.2. การทดลองของโมเดลตรวจจับโรคที่ปรับปรุงชุดข้อมูล

การทดลองนี้นำชุดข้อมูลต้นฉบับมาใช้กระบวนการเสริมข้อมูลแล้วทำการแบ่งชุดข้อมูลออกด้วยวิธี 5-fold Cross Validation โดยใช้โมเดลโยโลวีเจ็ตด้วยจำนวน 500 Epochs โดยผลการทดลองสำหรับชุดข้อมูลทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

จากการตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพของทั้ง 5 Fold มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากการทดลองของโมเดลตรวจจับโรคขั้นต้นอย่างชัดเจน โดยมีค่าเฉลี่ยของ F1-score, Accuracy, Precision และ Recall คือ 0.9147, 0.9500, 0.9088 และ 0.9275 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบจำนวน Epoch ด้วยตัวชี้วัดทางสถิติ

Epochs	ค่าเฉลี่ยตัวชี้วัดทางสถิติ			
	F1-score	Accuracy	Precision	Recall
100	0.387	0.578	0.350	0.449
300	0.472	0.458	0.541	0.418
500	0.508	0.517	0.526	0.491



ภาพที่ 8 Confusion Matrix ของชุดข้อมูลทดสอบของชุดข้อมูลต้นฉบับ

จากผลการทดสอบ พบว่าภาพที่มีความคมชัดต่ำอาจทำให้เกิดความผิดพลาดแบบ False Negative (Background FN) เล็กน้อย โดยมีปัจจัยร่วม เช่น ความใสของกระจกตู้ปลาและการหักเหของแสงที่ทำให้ลักษณะของโรคคลืนกับสีตัวปลา นอกจากนี้ยังพบความผิดพลาดแบบ False Positive (Background FP) ในทุกคลาส โดยเฉพาะคลาส goldfish_septicemia ซึ่งอาจเกิดจากของตกแต่งสีแดงในตู้ปลา ส่วนคลาส goldfish_ich พบว่าโมเดลอาจสับสนพองอากาศกับจุดสีขาวของโรค ขณะที่ในคลาส goldfish ความคมชัดต่ำและขนาดลักษณะโรคที่เล็กเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำของโมเดล ดังภาพที่ 9

5.3. ผลการทดสอบจากการใช้งานจริง

โกลด์ฟิชเมื่อนำมาติดตั้งเสร็จจะมีลักษณะดังภาพที่ 10 สำหรับการทดสอบการใช้งานจริง งานวิจัยนี้จะนำภาพที่ได้จากกล้องมาทดสอบโดยกล้องจะทำการถ่ายภาพทุก ๆ 5 นาที ทำให้ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีจำนวนรูป 288 ภาพ โดยมีตรวจจับโรคที่เกิดขึ้นด้วยโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนโดยมีการกำหนดคลาสของชุดข้อมูลโดยแบ่งออกเป็น 4 คลาส ดังนี้ ปลาทองปกติ ปลาทองที่เป็นโรคจุดขาว ปลาทองที่เป็นโรคเลือดออกตามชอกเกล็ด และปลาทองที่เป็นโรคเกล็ดตั้ง ตามลำดับ ในการทดสอบการใช้งานจริงจะทดสอบเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ทดสอบด้วยปลาทองที่ป่วยเป็นโรคทั้ง 3 ชนิดในระยะเริ่มต้น มีปัจจัยรบกวนเพียงพองอากาศภายในตู้ปลา ได้ผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 พบว่าโมเดลมีความแม่นยำในการตรวจจับโรคอยู่ระหว่าง 88.89% ถึง 89.93% ในช่วงวันที่ 1-4 และเพิ่มขึ้นเป็น 90.63% ถึง 91.67% ในช่วงวันที่ 5-7 โดยเฉลี่ยตลอดสัปดาห์อยู่ที่ 90.04% แม้มีปลาหลายตัวในตู้ปลา ในช่วงต้นสัปดาห์ อาการของโรคยังอยู่ในระยะเริ่มต้น เช่น โรคเลือดออกตามชอกเกล็ดและโรคเกล็ดตั้ง แต่ยังสามารถตรวจจับได้แม่นยำ ขณะที่โรคจุดขาวบางภาพไม่สามารถตรวจจับได้เนื่องจากจุดมีขนาดเล็ก ทำให้ระบบประเมินว่าเป็นปลาปกติ ช่วงปลายสัปดาห์ อาการโรคชัดเจนขึ้นและปลามีการเคลื่อนไหวช้าลง ส่งผลให้กล้องจับภาพได้ชัดเจนขึ้น และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับกรณีที่โมเดลทำนายผิด ส่วนใหญ่เกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น ปลานอกกรอบภาพ พองอากาศ หรือภาพไม่ชัดเจน ดังภาพที่ 11

6. สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้พัฒนาตู้ปลาทองอัจฉริยะที่สามารถตรวจจับโรคปลาทอง ได้แก่ โรคจุดขาว โรคเลือดออกตามชอกเกล็ด และโรคเกล็ดตั้ง โดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องที่ติดตั้งกับตู้ปลาและประมวลผลผ่านโมเดล YOLOv7 ซึ่งได้รับการฝึกด้วยชุดข้อมูลที่รวมภาพปลาทองปกติและปลาทองที่เป็นโรคต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคการเสริมข้อมูล (Data Augmentation) เพื่อเพิ่มความหลากหลายของภาพ ปัจจุบันโมเดลมีค่า F1-score ในการจำแนกโรคอยู่ที่ 0.9147 และสามารถตรวจจับโรคได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น แม้ในกรณีที่อาการยังไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ช่วยให้ผู้เลี้ยงทราบและรักษาโรคได้อย่างทันท่วงที

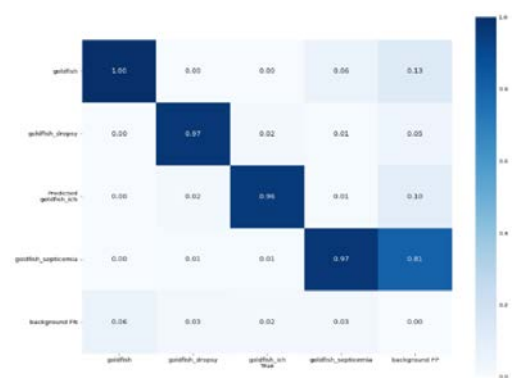
อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของการตรวจจับขึ้นอยู่กับความคมชัดของภาพจากกล้อง สำหรับแนวทางในอนาคต งานวิจัยมีเป้าหมายที่จะใช้เทคนิคสร้างภาพสังเคราะห์ (Synthetic Image Generation) เพื่อเพิ่มจำนวนและความหลากหลายของข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแม่นยำของโมเดลตรวจจับโรคได้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการจำแนกโรคด้วย วิธี 5-fold Cross Validation

Fold	ค่าเฉลี่ยตัวชี้วัดทางสถิติ			
	F1-score	Accuracy	Precision	Recall
1	0.9346	0.9710	0.9091	0.9615
2	0.9108	0.9440	0.8907	0.9340
3	0.8694	0.9380	0.9093	0.8587
4	0.9240	0.9260	0.9260	0.9220
5	0.9346	0.9710	0.9091	0.9615
ค่าเฉลี่ย	0.9147	0.9500	0.9088	0.9275

ตารางที่ 4 ผลการจำแนกโรคในปลาทองผ่านการใช้งานจริง

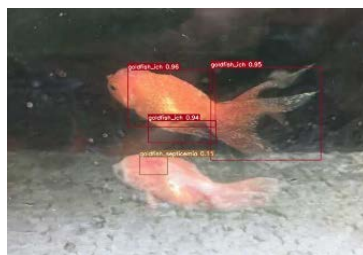
จำนวนวัน	ภาพที่มีการทำนายถูกต้อง	ภาพที่มีการทำนายผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์การทำนายแม่นยำ
วันที่ 1	257	31	89.24%
วันที่ 2	256	32	88.89%
วันที่ 3	259	29	89.93%
วันที่ 4	256	32	88.89%
วันที่ 5	261	27	90.63%
วันที่ 6	262	26	90.97%
วันที่ 7	264	24	91.67%
ค่าเฉลี่ย			90.04%



ภาพที่ 9 Confusion Matrix โดยเฉลี่ยของทุก Fold



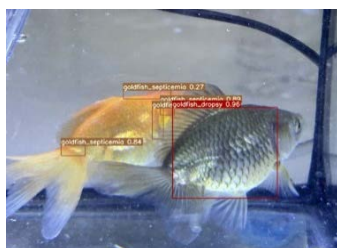
ภาพที่ 10 โกลด์ฟิชหม่อมตืดตั้งเสร็จ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 11 การตรวจจับโรคของโมเดลตรวจจับโรค (ก) ปลาทองที่เป็นโรคจุดขาว (ข) ปลาทองที่เป็นโรคเลือดออกตามซอกเกล็ด (ค) ปลาทองที่เป็นโรคเกล็ดตั้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มเผยแพร่และประชาสัมพันธ์. (2023). กรมประมงเปิดกระแส 5 ลิสต์ปลาสวยงามไทยดังไกลทั่วโลก พร้อมดันมาตรฐานปลาไทย 'สวยคุณภาพ' ออกผงดตลาดต่างแดน. กรมประมง. สืบค้นจาก https://www4.fisheries.go.th/dof/news_local/1210/198482
- [2] สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำจืด. (2010). การป้องกันและกำจัดโรคปลา. กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สืบค้นจาก <https://ebook.lib.ku.ac.th/ebook27/ebook/2011-015-0015/>
- [3] กุล เกจวิธ. (2023). YOLOv7: อัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุที่ล้ำหน้าที่สุด?. Unite.ai. สืบค้นจาก <https://www.unite.ai/th/yolov7/>
- [4] Medina, J. K. P., Tribiana, P. J. P., & Villaverde, J. F. (2023). Disease classification of Oranda goldfish using YOLO object detection algorithm. In *Proceeding of the 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*. pp.249-254. Austratia. <http://doi.org/10.1109/ICCAE56788.2023.10111494>.
- [5] Shamshulbahrin, A. S. , & Ahmad, I. (2022). IoT-based aquarium monitoring system using Blynk and NodeMCU ESP8266. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 32(3), pp.1625-1637.
- [6] Azhar, A. S. B. M., Harun. N. H. B., Hassan. M. G. B., Yosoff. A. B., Pauzi. S. N. B. M., Yusuf. N. N. N., & Chu. K. B. (2024). Early screening protozoan white spot fish disease using convolutional neural network, *Journal of Advanced in Applied Sciences and Engineering Technology*, 37(1). pp. 49-55.
- [7] Vo, T. T. E., Ko, H., Huh, J. H., & Kim, Y. (2021). "A review Overview of smart Aquaculture System: Focusing on Application of Machine Learning and Computer Vision," *Electronics*, 10(22), Article 2882. <https://doi.org/10.3390/electronics10222882>
- [8] AWS. (2023). Data augmentation (การเสริมข้อมูล) คืออะไร. สืบค้นจาก <https://aws.amazon.com/th/what-is/data-augmentation/>
- [9] Dynamic Intelligence Asia. (2020). Computer vision: What it is, how it works, and applications. สืบค้นจาก <https://www.dia.co.th/articles/computer-vision/>

- [10] KBTG Life, P. (2023). What is cross-validation (CV) and why do we need it?. *Medium*. สืบค้นจาก <https://medium.com/kbtg-life/what-is-cross-validation-cv-and-why-do-we-need-it-fb4bac340991>
- [11] Billingsley, B. (2024). Ideal temperature for goldfish in tank and ponds: Vet-approved facts. *PangoVet*. สืบค้นจาก <https://pangovet.com/pet-health-wellness/goldfish/ideal-temperature-for-goldfish-tank-pond/>
- [12] Pet Advocacy Network. (2024). Caring for your goldfish. สืบค้นจาก <https://petadvocacy.org/wp-content/uploads/2022/01/Goldfish-Care-Sheet.pdf>