



บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับกำหนดตำแหน่งการตัดหัวปลา Application of image processing for cutting-path generation in fish deheading

เอียงเฮง พอล¹ สุภาพรณ ไชยประพัทธ์^{1,2} รักษกฤตว์ ดวงสร้อยทอง^{2,3} กุลภัสร์ ทองแก้ว^{1,2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

² ศูนย์วิจัยอุตสาหกรรมอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

³ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Eangheng Phal¹ Supapan Chaiprapat^{1,2} Rakkrit Duangsoithong^{2,3} Kunlapat Thongkaew^{1,2*}

¹ Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110, Thailand

² Smart Industrial Research Center, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110, Thailand

³ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110, Thailand.

* Corresponding author.

E-mail: kunlapat.t@psu.ac.th; Tel: 0 7428 7157

วันที่รับบทความ 23 มกราคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 27 เมษายน 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 16 พฤษภาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 25 พฤษภาคม 2567

บทคัดย่อ

กระบวนการตัดหัวปลาเป็นขั้นตอนที่สำคัญในช่วงแรกของกระบวนการผลิตอาหารทะเลแปรรูป โดยขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคนที่มีความเชี่ยวชาญเพื่อให้ได้ผลผลิตมากที่สุด ถึงแม้จะมีเครื่องมือและเครื่องจักรที่ช่วยในการตัดหัวปลา แต่เครื่องจักรเหล่านั้นยังขาดความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนลักษณะการตัดให้สอดคล้องกับขนาดปลาและรูปร่างของปลาแต่ละตัว ปัจจุบันเทคนิคการประมวลผลภาพได้มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก และถูกนำมาประยุกต์เป็นส่วนหนึ่งของระบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต เช่น การควบคุมการผลิตและการตรวจสอบคุณภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมากำหนดเส้นทางการตัดหัวปลาเพื่อลดการสูญเสียเนื้อปลา โดยการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1. การเก็บข้อมูลภาพปลาทุกแซกซึ่งนิยมใช้ผลิตปลากระป๋อง ถ่ายภาพปลาจากมุมมองด้านบนภายใต้กล้องควบคุมแสงและมีการติดตั้งมาตราส่วนอ้างอิง 2. การประมวลผลภาพปลาเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงปริมาณของตัวปลาและสุดท้ายคือ การนำผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลดังกล่าวมากำหนดตำแหน่งและสร้างเส้นทางการตัดหัวปลา ผลจากประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลภาพปลาจำนวน 50 รูป ในช่วงขนาดความยาว 150 ถึง 250 มิลลิเมตร พบว่าอัตราส่วนระหว่างความยาวของหัวปลาต่อความยาวของตัวปลา มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนอยู่ที่ 0.23 และ 0.006 ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนนี้ได้ถูกนำมาใช้การกำหนดตำแหน่งและเส้นทางการตัดหัวปลาแบบตัดตรง เส้นทางการตัดนั้นได้ถูกทดสอบความแม่นยำด้วยภาพตัวอย่างปลาจำนวน 50 ภาพ ด้วยหลักการ Fréchet distance พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งการตัดที่สร้างจากการประมวลผลภาพกับตำแหน่งที่ถูกกำหนดด้วยผู้เชี่ยวชาญเฉลี่ยอยู่ที่ 2.15 มิลลิเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบน 1.21 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็น 1.01 % ของความยาวตัวปลาซึ่งมีค่าน้อยมาก เมื่อทดสอบตัดปลาจริงจำนวน 15 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าของน้ำหนักที่สูญเสียหลังจากถูกตัดหัวออกอยู่ที่ 24.47 % ของน้ำหนักตัวทั้งหมด และมีส่วนเบี่ยงเบน 3.23 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่อุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูปยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อกำหนดตำแหน่งการตัดหัวปลานั้นเป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ และสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องตัดหัวปลาอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมแปรรูปปลา

คำสำคัญ

การประมวลผลภาพ การตัดหัวปลา การสร้างเส้นทางการตัด อาหารทะเลแปรรูป

Abstract

The fish deheading process is a crucial step in the early stages of seafood processing. Traditionally, this process has relied heavily on skilled manual labor to maximize yield. While automated tools and machinery have been developed to assist with fish deheading, these machines still lack the flexibility to adapt their cutting patterns to accommodate the varying sizes and shapes of individual fish. Recent advancements in image processing techniques have led to their widespread adoption in various industries to enhance production efficiency, including quality control, inspection, and object recognition. This research aims to utilize image processing techniques to determine optimal fish-cutting paths to minimize flesh loss. The study involved three main steps: 1) data collection: Images of commonly used canned fish, mackerels, were captured from a top-down perspective under controlled lighting conditions with a reference scale, 2) image processing: Image processing algorithms were applied to extract quantitative information from the fish images, enabling the determination of cutting positions, and 3) analysis and path generation: the results of image processing and statistical analysis were combined to determine cutting positions and generate optimal cutting paths. After processing and analyzing image data of 50 fish samples within the length range of 150 to 250 millimeters, it was found that the average head-to-body length ratio was 0.23, with a standard deviation of 0.006. This ratio was used to establish the position and path for cutting the fish head following a straight-line approach. The cutting path accuracy was evaluated using another 50 sample fish images and the Fréchet distance metric. The average error between the cutting positions generated from image processing and the positions specified by experts was found to be 2.15 millimeters, with a standard deviation of 1.21 millimeters. This corresponds to a mere 1.01% of the body length, indicating a high degree of precision. To assess the practical effectiveness, 15 real fish samples were tested. The average weight loss after cutting the head was found to be 24.47% of the total body weight, with a standard deviation of 3.23%. This falls within the acceptable range for the seafood processing industry. The presented method for cutting fish heads using a straight line approach based on the head-to-body length ratio has proven to be accurate, and efficient, and results in minimal weight loss. The method's effectiveness was validated through both data analysis and real-world testing, making it a promising tool for the seafood processing industry.

Keywords

Image processing; fish deheading; cutting path generation; seafood processing

1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแปรรูปปลาเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย ซึ่งในปี 2566 มีปริมาณส่งออกเป็นมูลค่าอยู่ที่ประมาณ 16,400.64 ล้านบาท [1] ในกระบวนการแปรรูปปลานั้น การตัดหัวปลาเป็นขั้นตอนหลักที่สำคัญในการเตรียมปลาก่อนแปรรูป ซึ่งนอกจากต้องคำนึงถึงคุณภาพการตัดหัวปลา ยังต้องดำเนินการให้เกิดการสูญเสียเนื้อปลาน้อยที่สุด โรงงานส่วนใหญ่จึงใช้แรงงานคนที่มีทักษะสูงในการตัดหัวปลาเพื่อหาวิธีการตัดปลาที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของปลาแต่ละตัว ทำให้ต้องใช้แรงงานจำนวนมากในขั้นตอนนี้ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น [2] ปัญหาดังกล่าวนี้ยิ่งส่งผลกระทบต่อมากขึ้นในช่วงเวลาที่ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานและต้องมีการนำแรงงานเข้ามาจากต่างประเทศ และถึงแม้บางโรงงาน

ได้มีการนำเสนอบริการอัตโนมัติด้วยเครื่องตัดหัวปลา [3] มาทดแทนแรงงานคน แต่พบว่ายังมีการสูญเสียเนื้อปลาที่ติดไปกับส่วนหัวปลาที่ถูกตัดออก เนื่องจากระบบของเครื่องตัดหัวปลาส่วนใหญ่ยังไม่สามารถปรับตำแหน่งการตัดที่ตอบสนองต่อความแตกต่างของขนาดและลักษณะปลาแต่ละตัวได้อย่างอัตโนมัติ

กระบวนการผลิตในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ได้มีการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (image processing) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างหลากหลายเพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ เช่น การคัดแยกขนาดผลิตผลทางการเกษตร [4-6] การนับจำนวน การประเมินขนาด และการตรวจสอบคุณภาพของสัตว์ [7-9] การวิเคราะห์ภาพทางชีววิทยา [10] การประมวลผลภาพทางวิทยาศาสตร์แพทย์เพื่อวิเคราะห์และทำนายโรค [11] มีการพัฒนาโปรแกรมหรืออัล

กอลิทึมสำหรับวิเคราะห์สำหรับการประมวลผลภาพ เช่น MathWorks: Image Processing Toolbox [12] Python image processing libraries และ ImageJ [13] โปรแกรม ImageJ และ Python ถูกนิยมนำใช้การประมวลผลภาพ เนื่องจากอนุญาตให้มีการพัฒนาและแชร์อัลกอริทึมร่วมกันของผู้ใช้งาน (open-source software) [13] เช่น การพัฒนาอัลกอริทึม CLAHE ประมวลผลภาพทางการแพทย์ที่มีความซับซ้อนและต้องใช้ข้อมูลหลายมิติ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพได้ดียิ่งขึ้น [14] Gracia et al. [15] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมที่แบ่งเป็นซอร์สโค้ดในการแปรรูปดอกไม้ ผลไม้ และผักโดยคำนวณพื้นที่ของวัตถุ (region of interest) และหาจุดก้านช่อ (peduncle point) ของวัตถุ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดดอกไม้ ผลไม้ และผัก การประมวลผลภาพสามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบอัตโนมัติอื่นได้เช่น การประมวลผลภาพเพื่อสร้างเส้นทางการตัดกระดูกโดยใช้แขนหุ่นยนต์ (robot arm) พบว่าได้ผลเป็นที่ยอมรับและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้คน [16]

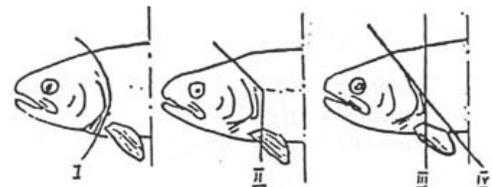
สำหรับงานที่วิจัยที่เกี่ยวข้องกับปลานั้นพบว่า ได้มีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้วิเคราะห์ปลา เช่น การประเมินคุณภาพและการตรวจจับประเภทสายพันธุ์ปลา [17] การประเมินขนาดและน้ำหนักปลาในน้ำเพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโต [18] นอกจากนี้ White et al. [19] ได้นำระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (machine vision) โดยใช้การตรวจจับขอบภาพเพื่อแยกลักษณะปลาชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้ผลความแม่นยำในการคัดแยกมากกว่า 90 % Sung et al. [20] สร้างระบบอัตโนมัติเพื่อคัดแยกกระดับความสดของปลาประกอบด้วย ส่วนสายพานลำเลียง ส่วนวิเคราะห์ด้วยภาพและส่วนคัดแยกปลา ระบบสามารถคัดแยกปลาได้ 30 ตัว/นาที่ ทดแทนแรงงานคนในการตรวจสอบ และมีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมากำหนดทิศทางและตำแหน่งการตัดปลาเทราต์ (trout) โดย Azarmdel et al. [21] ได้ค้นหาตำแหน่งหัวปลาและหางปลาเพื่อขี้นทิศทางของปลา และมีการค้นหาคุณลักษณะต่าง ๆ ของปลา เช่น หน้าท้องปลา ครีบท้องปลา ครีบหลังปลา และครีบก้นปลา เพื่อกำหนดตำแหน่งการตัดปลา

จากการสำรวจงานวิจัยข้างต้นพบว่าเทคนิคการประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่หลากหลาย เช่น การคัดแยกขนาด การตรวจสอบคุณภาพ การนับจำนวน และการกำหนดตำแหน่งการตัด อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดตำแหน่งและสร้างเส้นทางการตัดหัวปลา ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจที่จะพัฒนาระเบียบวิธีการตัดหัวปลาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมากำหนดตำแหน่งและเส้นทางการตัดหัวปลาเพื่อลดการสูญเสียเนื้อปลาที่ติดไปกับหัวปลาให้น้อยที่สุด โดยระเบียบวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบตัดหัวปลาอัตโนมัติเพื่อทดแทนแรงงานคนในอนาคตได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.1 กระบวนการตัดหัวปลา (Fish-deheading Process)

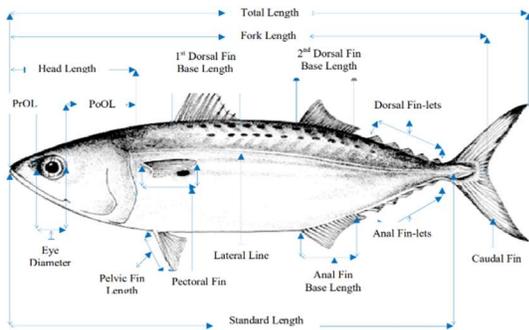
โดยทั่วไปก่อนการแปรรูปปลาจะต้องมีการตัดหัวปลา ตัดหางปลา และควักไส้ปลา น้ำหนักที่สูญเสียจากขั้นตอนนี้คิดเป็นร้อยละ 20-40 ของน้ำหนักตัวปลาทั้งหมด การตัดหัวปลาด้วยโดยทั่วไปมี 4 รูปแบบดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่ 1) การตัดแบบโค้งตามหัวปลา (round cut) 2) การตัดตรงตามหัวปลา (contoured cut) 3) การตัดตรง (straight cut) และ 4) การตัดเฉียง (slant cut) การตัดโค้งตามหัวปลา (แบบที่ 1) เป็นวิธีที่ทำให้สูญเสียเนื้อปลาน้อยที่สุด แต่จะต้องใช้มีดตัดเฉพาะ [22] อย่างไรก็ตามการตัดทุกแบบยังต้องใช้แรงงานที่มีความเชี่ยวชาญสูงกำหนดตำแหน่งการตัดที่เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียเนื้อปลา



รูปที่ 1 รูปแบบการตัดหัวปลา 1) การตัดแบบโค้งตามหัวปลา 2) การตัดตรงตามหัวปลา 3) การตัดตรง และ 4) การตัดเฉียง [22]

2.2 สันฐานวิทยาของปลา (Morphometric of Fish)

สันฐานวิทยาของปลาคือการแสดงถึงลักษณะเฉพาะทางกายภาพและโครงสร้างของปลาชนิดนั้น ๆ ซึ่งสามารถประเมินได้จากขนาดความยาวและความกว้างตัวปลา น้ำหนักตัวปลา ขนาดครีบ และคุณลักษณะที่สังเกตได้อื่น ๆ ดังรูปที่ 2 แสดงสันฐานวิทยาของปลา



รูปที่ 2 สันฐานวิทยาของปลา [23]

ข้อมูลสันฐานวิทยาของปลาสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่าง เช่น การระบุชนิดพันธุ์ของปลา [24] การทำนายขนาดปลาโดยใช้การคำนวณจากการหาความยาวของปลา [25]

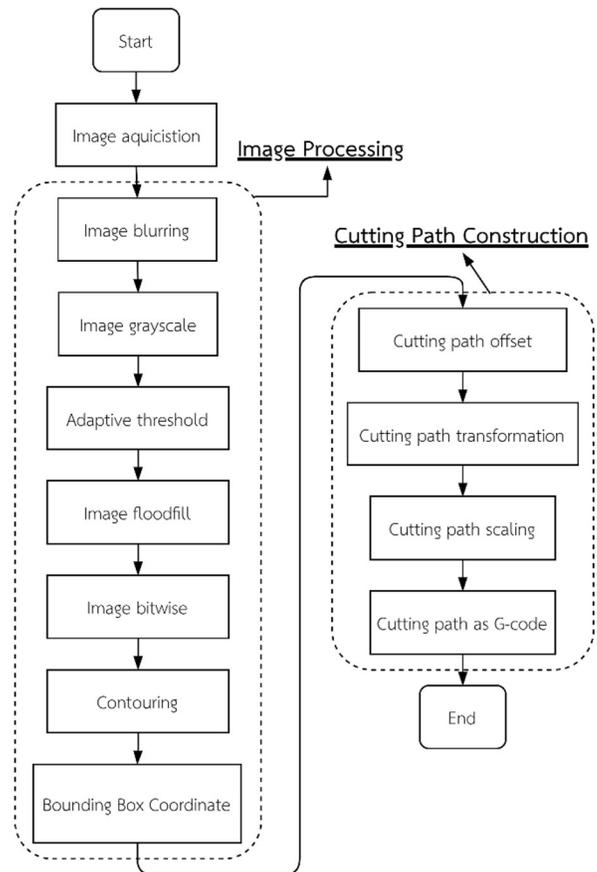
2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (digital format) หรือข้อมูลเชิงตัวเลข เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ เทคโนโลยีนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้น หรือเพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการประมวลผลภาพเริ่มจากการทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ และการแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เช่น ขนาด และรูปร่างของวัตถุในภาพ [26]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังรูปที่ 3 การดำเนินงานเริ่มจากการเก็บข้อมูลภาพปลา (image

acquisition) การประมวลผลภาพ (image processing) และการสร้างเส้นทางการตัดหัวปลา (cutting path construction)

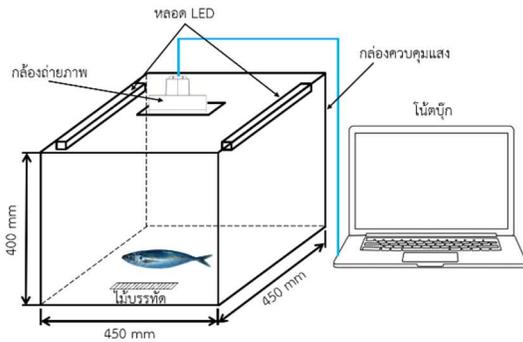


รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเก็บข้อมูลภาพปลา (Fish Image Acquisition)

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาปลาหูแหกหรือปลาแมคเคอเรล (mackerel round scads) เนื่องจากเป็นปลาที่นิยมนำมาแปรรูปทำเป็นปลากระป๋อง ทำการเก็บภาพถ่ายปลาที่มีความยาวของตัวปลา 200.0 ± 50.0 มิลลิเมตร ถ่ายภาพปลาโดยกล้องควบคุมแสงขนาดความกว้าง 450 มิลลิเมตร ความยาว 450 มิลลิเมตร และความสูง 400 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4 ใช้กล้องเว็บแคมรุ่น Logitech C922 มีความละเอียด 1080p full HD และความเร็วการแสดงผลภาพ 30-60 fps ทำการติดตั้งกล้องด้านบนกล้องที่มีระยะห่างจากตัวปลาประมาณ 400 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถรองรับการถ่ายภาพปลาขนาดในช่วงเวลาที่สนใจศึกษาได้ ใช้แผ่นรองปลาสีขาวเพื่อลดสัญญาณรบกวนในภาพถ่ายที่อาจส่งผลต่อความผิดพลาดในการประเมิน จึง

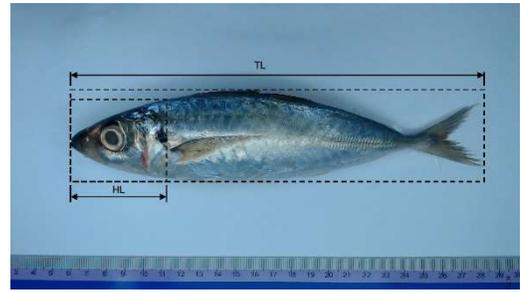
เลือกใช้หลอด LED ขนาด 7 วัตต์ ประเภทสีเดย์ไลท์ (daylight) จำนวนทั้งหมด 2 หลอดติดตั้งภายในกล่องด้านบน เพื่อให้แสงสว่างเพียงพอและกระจายทั่วกล่องและเป็นชนิดแสงสีเดียวกับที่ใช้ในโรงงาน



รูปที่ 4 ระบบเก็บถ่ายภาพปลา

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลสัณฐานวิทยาของปลาด้วยการวัดขนาดปลาจำนวน 50 ภาพ ด้วยโปรแกรม ImageJ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพ [27] ดังรูปที่ 5 ข้อมูลความยาวหัวปลา (HL) และความยาวตัวปลา (TL) ที่วัดได้ถูกนำมาคำนวณหาค่าอัตราส่วนของความยาวนั้น (r) ดังสมการที่ (1) เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการกำหนดตำแหน่งและสร้างเส้นทางการตัดหัวปลาในขั้นตอนต่อไป จากรูปความยาวหัวปลาจะวัดจากปลายปากปลาจนถึงขอบเหงือกปลา (gill cover) ข้อมูลภาพปลาทั้งจำนวน 50 ตัวอย่างถูกทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูล (Normality test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อมั่นใจว่าข้อมูลนี้สามารถเป็นตัวแทนในการคำนวณตำแหน่งการตัดหัวปลา ผลจากการทดสอบพบว่าค่า p -value เท่ากับ 0.11 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติสามารถนำไปวิเคราะห์ได้ ข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนของคุณลักษณะปลาดังแสดงในตารางที่ 1

$$r = \frac{HL}{TL} \quad (1)$$



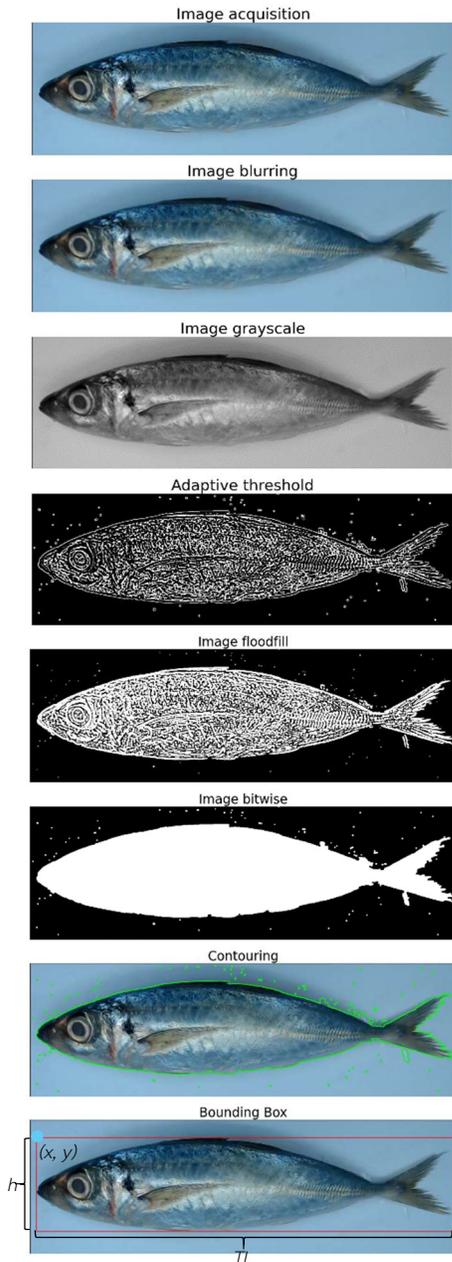
รูปที่ 5 การวัดค่าคุณลักษณะปลา

ตารางที่ 1 ค่าสถิติของคุณลักษณะปลา

ค่าสถิติ	หัวปลา (HL) (มิลลิเมตร)	ตัวปลา (TL) (มิลลิเมตร)	อัตราส่วน (r)
ค่าเฉลี่ย	48.28	210.12	0.23
ส่วนเบี่ยงเบน	2.56	8.98	0.006

3.2 การประมวลผลภาพปลา (Fish Image Processing)

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการประมวลผลภาพโดยภาษา Python กลุ่มคำสั่ง (library) OpenCV และ Numpy บน Jupyter Notebook ในการตรวจจับตัวปลาเพื่อหาความยาวตัวปลา ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย 8 ขั้นตอนย่อยดังแสดงในรูปที่ 6 คือ เริ่มจาก นำภาพเข้าระบบ (image acquisition) ต่อด้วยการปรับภาพให้มีความคมชัดมากขึ้นโดยการลบสิ่งรบกวนที่ทำให้ภาพไม่คมชัด (image blurring) และการปรับภาพสีเป็นภาพระดับเทา (image grayscale) เพื่อประเมินระดับความเข้มของภาพ และคัดแยกข้อมูลที่รบกวนออกจากตัวภาพ กระบวนการถัดไปเป็นเทคนิคการคัดแยกวัตถุออกจากภาพพื้นหลัง โดยการรับภาพสีเทามาแปลงเป็นภาพไบนารี (image thresholding) และต่อด้วยการเติมสีขาวของภาพตัวปลาให้เต็ม (image floodfill) โดยการปรับปรุงข้อมูลที่หายไป และกำหนดขอบเขตของภาพปลาที่อยู่ในภาพที่มีการเชื่อมต่อกัน กระบวนการต่อไปเป็นกระบวนการดำเนินการระดับบิต (image bitwise) โดยดำเนินการระหว่างรูปที่ใช้คำสั่ง *thresholding* กับรูปที่ใช้คำสั่ง *floodfill* เพื่อกรองส่วนของภาพปลาและช่วยลดสิ่งรบกวนต่าง ๆ ให้เหลือน้อยที่สุด การทำใช้คำสั่ง *contouring* เพื่อให้ได้เส้นขอบรอบตัวปลา กระบวนการสุดท้ายเป็นการดึงสมบัติของกรอบรอบตัวปลา (bounding box) เพื่อจะได้อ่านค่าความกว้าง ความยาวของตัวปลาได้



รูปที่ 6 กระบวนการตรวจจับตัวปลาด้วยการประมวลผลภาพ

3.3 การสร้างเส้นทางการตัดหัวปลา (Cutting path Construction)

สำหรับการสร้างเส้นทางการตัดหัวปลาจะเป็นการนำคุณลักษณะขนาดตัวปลาตามการใช้คำสั่ง *Bounding Box* จากการประมวลผลภาพ นำค่าพิกัดมุมซ้ายบน (x, y) ค่าความยาว (TL) และค่าความสูง (h) ของกล่องมาคำนวณกับค่าอัตราส่วนเฉลี่ย r จากตารางที่ 1 ซึ่งเป็นค่าระหว่างความยาว

ของตัวปลากับหัวปลา ดังสมการที่ (2) จะได้เป็นระยะห่างจากจุดปลายของปากปลากับตำแหน่งตัดหัวปลา (*offset*) ซึ่งจะใช้กำหนดตำแหน่งเส้นทางการตัดปลา (*cutting path offset*) ตามขั้นตอนในรูปที่ 3

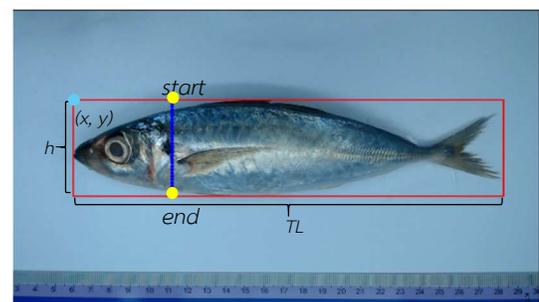
$$offset = r * TL \quad (2)$$

นำค่า *offset* มาวิเคราะห์ร่วมกับค่าความสูงกล่อง (h) เพื่อกำหนดจุดเริ่มต้นตัด (*start*) และจุดสิ้นสุดการตัด (*end*) ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยใช้สมการที่ (3) และ (4)

$$start \begin{cases} x_1 = x + offset \\ y_1 = y \end{cases} \quad (3)$$

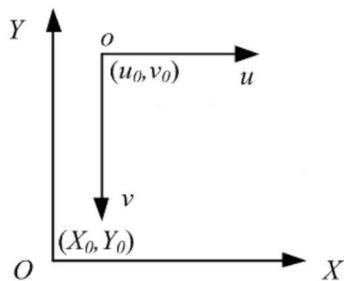
$$end \begin{cases} x_2 = x + offset \\ y_2 = y + h \end{cases} \quad (4)$$

เส้นทางการตัดหัวปลาแบบเส้นตรงถูกสร้างโดยใช้ฟังก์ชัน *linspace* ซึ่งใช้หลักการคำนวณหาค่าที่อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย และสามารถกำหนดจำนวนจุดได้ตามต้องการ [28] ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวน 30 จุดอยู่ระหว่างจุดทั้งสองเพื่อสร้างเส้นทางการตัดหัวปลา นอกจากนี้ได้มีการใช้หลักการ *Fréchet distance* [29–30] มาวิเคราะห์ความแม่นยำของการกำหนดตำแหน่งการตัดหัวปลา ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการสร้างเส้นทางการตัดด้วยระบบประมวลผลภาพกับการตัดจริงโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งจะกำหนดตำแหน่งการตัดหัวปลาตรงขอบเหงือกปลา



รูปที่ 7 การสร้างเส้นทางการตัดหัวปลา

อย่างไรก็ตามก่อนนำหัวปลาไปตัดจริงโดยเครื่องตัดจะต้องมีการแปลงระบบพิกัดภาพ (image coordinate system) ให้เป็นระบบพิกัดโลก (world coordinate system) โดยการเปลี่ยนตำแหน่งจุดอ้างอิงของภาพ (image origin) ที่มุมซ้ายบนมาเป็นมุมซ้ายล่าง (world origin) ดังรูปที่ 8 หลังจากแปลงของระบบพิกัดภาพเป็นระบบพิกัดโลก (cutting path transformation) แล้วจึงแปลงหน่วยภาพ (พิกเซล) เป็นหน่วยจริง (มิลลิเมตร) (cutting path scaling ตามขั้นตอนในรูปที่ 3) ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่าขนาดจริง 10 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 72.30 พิกเซล ตำแหน่งการตัดหัวปลาที่ถูกแปลงระบบพิกัดและหน่วยเรียบร้อยแล้วจะมีการนำไปสร้างเส้นทางการตัดด้วยภาษาการสั่งงานเครื่องจักร หรือ จีโค้ด (G-code) เพื่อให้สามารถตัดหัวปลาได้ร่วมกับเครื่องตัดซีเอ็นซี (CNC cutting machine) ที่สามารถกำหนดตำแหน่งการตัดอัตโนมัติด้วยระบบคอมพิวเตอร์



รูปที่ 8 ความแตกต่างของระบบพิกัดโลก (X_0, Y_0) และระบบพิกัดรูปภาพ (u_0, v_0) [32]

4. ผลการดำเนินงานวิจัย (Results)

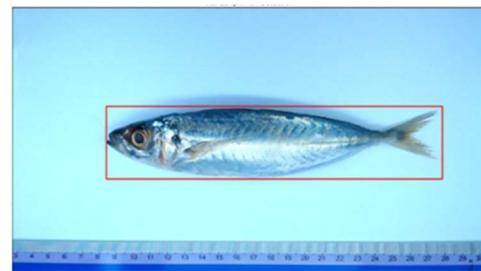
4.1 ผลตรวจจับคุณลักษณะปลาด้วยการประมวลผลภาพ

งานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการสร้างเส้นทางการตัดหัวปลาด้วยการประมวลผลภาพในการตรวจจับตัวปลาเพื่อหาขนาดตัวปลา ทั้งในส่วนของความยาวตัวปลา (TL) เพื่อนำไปคำนวณตำแหน่งและเส้นการตัดหัวปลา ร่วมกับค่าอัตราส่วนความยาวหัวปลาและตัวปลา (r) ผลจากการทดลองประเมินประสิทธิภาพการสร้างเส้นทางการตัดหัวปลาจากภาพปลาจำนวน 50 ตัวอย่างพบว่าระบบใช้เวลาในการประมวลผลปลาแต่ละตัวไม่เกิน 500 มิลลิวินาที ตั้งแต่เริ่มถ่ายภาพ (image acquisition) จนถึงการสร้างเส้นทางการตัด (cutting path as G-code) ดังแสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ระบบประมวลผลภาพสามารถตรวจจับปลาได้อย่างถูกต้อง 48 ภาพ หรือคิดเป็น 96% โดยปัจจัยที่ส่งผล

ให้ไม่สามารถตรวจจับปลาได้คือตำแหน่งการวางปลากับความเข้มและทิศทางของแสงที่ส่องกระทบตัวปลาทำให้เกิดเงาส่งผลให้แยกระหว่างตัวปลากับภาพพื้นหลังได้ลำบาก ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 9 (ก) ซึ่งวิธีการปรับแก้คือควรมีการปรับความสว่างของภาพก่อนการวิเคราะห์เพื่อลดปัญหาจากสภาวะแสงที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 9 (ข) ที่สามารถตรวจจับปลาได้ด้วย *Bounding Box* ดังแสดงด้วยกล่องสีแดงที่คลุมตัวปลา



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 (ก) ลักษณะภาพที่ตรวจจับปลาไม่ได้ และ (ข) ลักษณะภาพที่มีการปรับความสว่าง

ผลจากการตรวจจับขนาดปลาพบว่าค่า TL มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,503.48 พิกเซล (หรือ 207.95 มิลลิเมตร) และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 69.59 พิกเซล (หรือ 9.62 มิลลิเมตร) ส่วนค่า h มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (หรือ 45.09 มิลลิเมตร) และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 29.58 พิกเซล (หรือ 4.09 มิลลิเมตร)

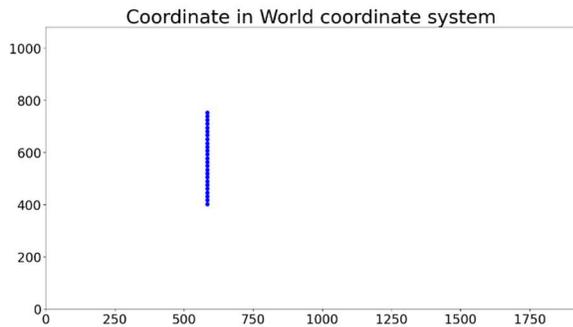
4.2 ผลการสร้างเส้นทางการตัดหัวปลา

ผลการตรวจจับคุณลักษณะปลาประกอบด้วยค่า ความยาวตัวปลา (TL) และความกว้างตัวปลา (h) ที่ได้จากการประมวลผลภาพถูกนำมาคำนวณค่า *offset*, *start* และ *end* ด้วยสมการที่ (2)-(4) เพื่อสร้างเส้นทางการตัดหัวปลาจำนวน 30 จุด ภายใต้ระบบพิกัดรูปภาพ ดังรูปที่ 10



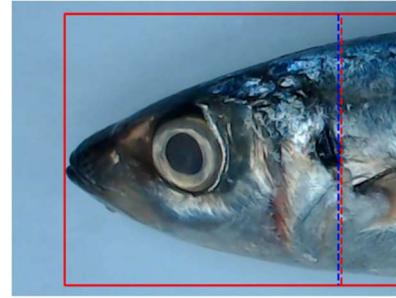
รูปที่ 10 ผลการสร้างเส้นทางตัดหัวปลาในระบบพิกัดรูปภาพ

จากนั้นนำข้อมูลตำแหน่งการตัดภายใต้ระบบพิกัดรูปภาพมาแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดโลกและหน่วยวัดจริง ผลการแปลงพิกัดดังแสดงในรูปที่ 11 ถูกนำไปแปลงตำแหน่งการตัดให้เป็นภาษาจีโอโค้ดเพื่อให้สามารถตัดหัวปลาด้วยเครื่องตัดซีเอ็นซีได้



รูปที่ 11 ผลการสร้างเส้นทางตัดหัวปลาในระบบพิกัดโลก

รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของการกำหนดเส้นทางในการตัดหัวปลา โดยเส้นสีน้ำเงินคือเส้นที่ถูกสร้างด้วยระบบประมวลผลภาพและเส้นสีแดงคือเส้นที่กำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลจากการเปรียบเทียบด้วย Fréchet distance จำนวน 50 ตัวอย่าง พบว่าความแตกต่างมีค่าเฉลี่ยผลิตอยู่ที่ 2.15 มิลลิเมตร และมีส่วนเบี่ยงเบน 1.21 มิลลิเมตร คิดเป็น 1.01 % ของความยาวตัวปลาซึ่งมีค่าน้อยมาก



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบความแตกต่างการกำหนดตำแหน่งเส้นทางตัดหัวปลา

นอกจากนี้ได้มีการนำผลการสร้างเส้นทางในการตัดหัวปลาไปทดสอบตัดปลาจริงด้วยเครื่องซีเอ็นซีตัดด้วยน้ำแรงดันสูง (CNC-water jet cutting machine) ซึ่งไม่ทำลายเนื้อปลา ระหว่างการตัดดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 13 โดยมีเงื่อนไขการตัดคือ แรงดันน้ำ 200 เมกะปาสคาล ความเร็วในการตัด 30 มิลลิเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิปลาที่ 10 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าของน้ำหนักปลาที่สูงสูญเสียหลังจากถูกตัดหัวออกอยู่ที่ 24.47% และมีส่วนเบี่ยงเบน 3.23% ทำให้ค่าผลผลิตเนื้อปลา (yield) เฉลี่ยอยู่ที่ 75.53% (ดังตารางที่ 2) ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์ที่โรงงานยอมรับได้คือไม่น้อยกว่า 70%



รูปที่ 13 ตัวอย่างการตัดหัวปลาด้วยน้ำแรงดันสูง

ตารางที่ 2 ผลการตัดหัวปลาด้วยเครื่องตัดด้วยน้ำแรงดันสูง

ค่าสถิติ	น้ำหนักตัวปลา ก่อนตัด (กรัม)	น้ำหนักตัวปลา หลังตัด (กรัม)	% Yield
ค่าเฉลี่ย	56.94	43.17	75.53
ส่วนเบี่ยงเบน	7.72	7.22	3.23

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เทคนิคการประมวลผลภาพถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดตำแหน่งและเส้นทางการตัดหัวปลา เพื่อลดการสูญเสียเนื้อปลาที่ติดไปกับหัวปลา เส้นทางการตัดหัวปลาได้ถูกสร้างขึ้นจากคุณลักษณะสำคัญของปลา คือ ความยาวหัวปลาและความยาวตัวปลา ค่าดังกล่าวถูกนำมาคำนวณหาอัตราส่วนเพื่อกำหนดตำแหน่งการตัดหัวปลา ซึ่งจากการเก็บข้อมูลตัวอย่างภาพปลาจำนวน 50 ตัว พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และสามารถใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน (r) มาคำนวณเพื่อกำหนดตำแหน่งและสร้างเส้นทางการตัดหัวปลาแบบเส้นตรงได้โดยใช้ฟังก์ชัน *linspace* เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการสร้างเส้นทางการตัดหัวปลาจำนวน 50 ตัวอย่าง พบว่าสามารถตรวจจับปลาและสร้างเส้นทางการตัดได้ 96% จากจำนวนปลาที่นำมาทดสอบทั้งหมด นอกจากนี้มีการทดสอบความแม่นยำของการตัดหัวปลาโดยหลักการ Fréchet distance วิเคราะห์ค่าความแตกต่างของเส้นทางการตัดปลาที่ถูกสร้างด้วยระบบประมวลผลภาพและด้วยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 ตัวอย่าง พบว่ามีเฉลี่ยอยู่ที่ 2.15 มิลลิเมตร และทำการทดสอบตัดปลาจริงตามเส้นทางการตัดที่ถูกสร้างกับเครื่องตัดด้วยน้ำแรงดันสูงพบว่าค่าเฉลี่ยผลผลิตภาพของน้ำหนัปลาหลังตัดหัวปลา คือ 75.53% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานยอมรับได้ ดังนั้นสรุปได้ว่าการประยุกต์เทคนิคประมวลผลภาพเพื่อกำหนดเส้นทางการตัดปลาสามารถพัฒนาเป็นระบบตัดหัวปลาอัตโนมัติร่วมกับการตัดด้วยน้ำแรงดันสูง และสามารถประยุกต์ใช้กับการตัดอาหารประเภทอื่นในอนาคตอย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตัดหัวปลาควรมีการพัฒนากระบวนการร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ที่ช่วยลดความผิดพลาดจากการตรวจจับปลาที่เกิดจากปัจจัยแสง การสั่นสะเทือน หรือสภาพแวดล้อมภายนอก

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนพระราชทานความช่วยเหลือแก่ราชอาณาจักรกัมพูชาตามพระราชดำริของสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทุนการศึกษานักศึกษาปริญญาโทปีการศึกษา 2564 งานวิจัยนี้ (Grant No. RGNS 63-235) ได้รับเงินสนับสนุนจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนและสถานที่ทำวิจัย รวมถึงโรงงานแปรรูปยางพาราสหกรณ์การเกษตร จำกัด อำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา ที่สนับสนุนการใช้เครื่องตัดด้วยน้ำแรงดันสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. สินค้าส่งออกสำคัญของไทย 2563. Available from: <https://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomTo pNCountry&Option> [Accessed 15th January 2024].
- [2] สำนักงานปลัดกระทรวงแรงงาน. สถานการณ์ด้านแรงงาน ราย ปี 2563. Available from: https://bigdata.mol.go.th/lmis/upload/setup_portal_document/1/สถานการณ์ด้านแรงงานประจำปี - 2563.pdf [Accessed 15th January 2024].
- [3] Sampels S. The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. *Trends in Food Science & Technology*. 2015;44(2): 131–146.
- [4] Nassiri SM, Tahavoor A, Jafari A. Fuzzy logic classification of mature tomatoes based on physical properties fusion. *Information Processing in Agriculture*. 2022;9(4): 547–555.
- [5] นุชรี ธรรมโชติ. พัฒนาระบบการประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2014.
- [6] วรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์, ถนอมศักดิ์ โสภณ, ประเสริฐ นามเวช, ศศิพันธ์ วงศ์สุทธาวาส. การคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้การประมวลผลภาพ. *การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7*. จังหวัดตรัง, ประเทศไทย; 2558.
- [7] Fernandes AFA, Dórea JRR, Rosa GJM. Image analysis and computer vision applications in animal sciences: an overview. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7: 551269.

- [8] Sture Ø, Øye ER, Skavhaug A, Mathiassen JR. A 3D machine vision system for quality grading of Atlantic salmon. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016;123: 142–148.
- [9] Thanasarn N, Chairapat S, Waiyakan K, Thongkaew K. Automated discrimination of deveined shrimps based on grayscale image parameters. *Journal of Food Process Engineering*. 2019;42(4): e13041.
- [10] Uchida S. Image processing and recognition for biological images. *Development, Growth & Differentiation*. 2013;55(4): 523–549.
- [11] Bajaj L, Gupta K, Hasija Y. Image processing in biomedical science. In: Hassanien AE, Oliva DA (eds) *Advances in Soft Computing and Machine Learning in Image Processing*. 2018; 185–211.
- [12] Ijamaru G, Nwajana A, Oleka E, Otuka R, Ihianle I, Ebenuwa S, et al. Image processing system using MATLAB-based analytics. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2021;10: 2566 – 2577.
- [13] Nolden M, Zelzer S, Seitel A, Wald D, Müller M, Franz AM, et al. The medical imaging interaction toolkit: challenges and advances: 10 years of open- source development. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 2013;8: 607–620.
- [14] Schindelin J, Rueden CT, Hiner MC, Eliceiri KW. The ImageJ ecosystem: An open platform for biomedical image analysis. *Molecular Reproduction and Development*. 2015;82(7–8): 518–529.
- [15] Gracia L, Perez-Vidal C, Gracia C. Computer vision applied to flower, fruit and vegetable processing. *International Journal of Computer and Information Engineering*. 2011;5(6): 616–622.
- [16] Wadie IHC, Khodabandehloo K. Path generation for robotic cutting of carcasses. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1995;12(1): 65–80.
- [17] Rico-Díaz AJ, Rabuñal JR, Gestal M, Mures OA, Puertas J. An application of fish detection based on eye search with artificial vision and artificial neural networks. *Water*. 2020;12(11): 3013.
- [18] Fernandes AF, Turra EM, de Alvarenga ER, Passafaro TL, Lopes FB, Alves GF, et al. Deep Learning image segmentation for extraction of fish body measurements and prediction of body weight and carcass traits in Nile tilapia. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020;170: 105274.
- [19] White DJ, Svelling C, Strachan NJ. Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Research*. 2006;80(2–3): 203–210.
- [20] Sung HJ, Park MK, Choi JW. Automatic grader for flatfishes using machine vision. *International Journal of Control, Automation and Systems*. 2020;18: 3073–3082.
- [21] Azarmdel H, Mohtasebi SS, Jafari A, Rosado Muñoz A. Developing an orientation and cutting point determination algorithm for a trout fish processing system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019;162: 613–629.
- [22] Bratt L. Technical guide to fish canning. *FAO GLOBEFISH Research Programme*. 2013;111: 1–69.
- [23] Rawat S, Benakappa S, Kumar J, Naik K, Pandey G, Pema C. Identification of fish stocks based on truss morphometric: A Review. *Journal of Fisheries and Life Sciences*. 2017;2(1): 9–14.
- [24] Mojekwu T, Anumudu C. Advanced techniques for morphometric analysis in fish. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2015;6(8): 1–6.
- [25] Petrellis N. Measurement of fish morphological features through image processing and deep learning techniques. *Applied Sciences*. 2021;11(10): 4416.

- [26] Rani N. Image processing techniques: a review. *Journal on Today' s Ideas- Tomorrow' s Technologies*. 2017;5(1): 40–49.
- [27] Oliveira NF, Torati LS, Borin-Carvalho LA, de Lima LK, Puvanendran V, Demiciano TH, et al. Fish size correlates to size and morphology of intermuscular bones in Tambaqui *Colossoma macropomum* as shown by dissection and X-ray imaging methods. *Fishes*. 2023;8(4): 180.
- [28] McKinney W. *Python for data analysis: O'Reilly Media, Inc.*; 2022.
- [29] Jekel CF, Venter G, Venter MP, Stander N, Haftka RT. Similarity measures for identifying material parameters from hysteresis loops using inverse analysis. *International Journal of Material Forming*. 2019;12: 355–378.
- [30] Wylie T, Zhu B. Following a curve with the discrete Fréchet distance. *Theoretical Computer Science*. 2014;556: 34–44.
- [31] Su H, Liu S, Zheng B, Zhou X, Zheng K. A survey of trajectory distance measures and performance evaluation. *The VLDB Journal*. 2020;29(1): 3–32.
- [32] Hou B, Zhang C, Yang S. Computer vision tool-setting system of numerical control machine tool. *Sensors*. 2020;20(18): 5302.