

เครื่องคัดแยกสำหรับดักแด้ไหมอีรี่โดยใช้แมชชีนวิชั่น

A Sorting Machine for Eri Silkworm Pupae Based on Machine Vision

เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล,^{1*} ธนาкар หมายถึง,² พรทวี ศรีชุมเหล็ก³

Kiattisin Kanjanawanishkul,^{1*} Thanakarn Mayman,² Pontawee Srikumlek³

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ ความต้องการดักแด้ไหมอีรี่กระป๋องปรุงรสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ทางด้านอาหารอื่นๆ ความสม่ำเสมอของคุณภาพและขนาดที่ใกล้เคียงกันเป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้น การคัดแยกขนาดดักแด้จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ และการคัดแยกนี้ยังทำให้การตั้งเวลาสำหรับการทอดและการอบแห้งเพื่อทำดักแด้กระป๋องง่ายขึ้น ปัจจุบันนี้ ดักแด้ถูกคัดแยกด้วยมือ ซึ่งใช้เวลานานและไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น เป้าหมายของโครงการวิจัยนี้ คือ การสร้างเครื่องคัดแยกที่สามารถคัดแยกดักแด้ตามขนาดได้โดยประกอบไปด้วยชุดแมชชีนวิชั่นและชุดกลไกคัดแยก ชุดแมชชีนวิชั่นทำการจับภาพของดักแด้แล้วกรรวิธีทางการวิเคราะห์ทางภาพถูกใช้เพื่อแยกแยะดักแด้เป็น 5 ระดับ คือ เล็กมาก, เล็ก, กลาง, ใหญ่ และ ใหญ่มาก ถัดมา ชุดแมชชีนวิชั่นส่งตำแหน่งและระดับขนาดของดักแด้ไปยังชุดกลไกซึ่งประกอบด้วยหุ่นยนต์เดลต้าและหัวดูดสูญญากาศเพื่อทำการคัดแยกดักแด้จากผลการทดลอง พบว่าชุดแมชชีนวิชั่นสามารถระบุตำแหน่งและขนาดของดักแด้ได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่ ความถูกต้องของชุดกลไกคัดแยกอยู่ที่ 44.4% อย่างไรก็ตาม เครื่องคัดแยกขนาดดักแด้ต้นแบบนี้ สามารถนำมาพัฒนาต่อยอดได้ในอนาคตซึ่งจะสามารถใช้ทดแทนแรงงานคน เพิ่มความถูกต้องและลดเวลาในการคัดแยกได้

คำสำคัญ: เครื่องคัดแยก, ดักแด้ไหมอีรี่, หุ่นยนต์เดลต้า, แมชชีนวิชั่น

Abstract

At present, the demand of flavored canned Eri silkworm pupae (*Samia ricini*) grows increasingly. Like other food products, quality consistency and size uniformity are necessary. Thus, size sorting for pupae is an essential operation and it can also ease time setting for frying and drying processes of making canned pupae. Currently, pupae are manually sorted. It is very time-consuming and non-consistent. Therefore, the aim of this research project is to build a sorting machine that can sort pupae according to their size. It consists of a machine vision unit and a sorting mechanism. The machine vision unit captures an image of pupae and then the algorithm based on image analysis is executed to categorize pupae into 5 size grades, i.e., very small, small, medium, large, and very large. Next, the machine vision unit sends the location and the size grade of each pupa to the sorting mechanism consisting of a delta robot and a vacuum suction head in order to sort pupae. Experimental results show that the machine vision unit determined the location and the grade number of each pupa correctly, while the accuracy of the sorting mechanism was 44.4%. However, this prototype can be further developed in the future so that it can be used to replace human operators, to increase accuracy and to reduce soring time.

Keywords: A sorting machine, Eri silkworm pupae, delta robots, machine vision

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ^{2,3}นิสิตปริญญาตรี, สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Assistant Professor, ^{2,3}Undergraduate student, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand, 44150

* Corresponding author: Kiattisin Kanjanawanishkul, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand, 44150, E-mail : kiattisin.k@msu.ac.th

บทนำ

หนอนไหมอิตาลี (*Samia ricini*) เป็นสปีชีส์ของผีเสื้อกลางคืนป่า และเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถนำทุกส่วนมาใช้ประโยชน์ได้นั้นคือ รังไหม สามารถนำไปปั่นเป็นเส้นใยไหม ในขณะที่ดักแด้สามารถนำไปใช้ในการบริโภคสำหรับมนุษย์หรือเป็นอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนที่สูง^{1,2} ในขณะที่หนอนไหมอิตาลีสามารถนำไปใช้เป็นอาหารปลา นอกจากนี้ เนื่องจากหนอนไหมอิตาลีกินใบละหุ่งและใบมันสำปะหลังเป็นอาหาร ดังนั้น จะเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังอีกด้วย จากที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่า หนอนไหมอิตาลี เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรแบบครบวงจร และ ก่อให้เกิดความยั่งยืนทางด้านเกษตรกรรมอีกด้วย

เพื่อพัฒนาดักแด้ไหมอิตาลีเป็นผลิตภัณฑ์เชิงการค้า และเพื่อเก็บรักษาให้ได้นาน วิธีหนึ่งที่ยอมรับ คือ การทำดักแด้กระป๋อง³ และเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ทางด้านอาหารต่างๆ การควบคุมคุณภาพให้คงที่และควบคุมขนาดของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากผู้บริโภคสามารถสัมผัสได้โดยตรง สำหรับดักแด้กระป๋องนั้น หลักเกณฑ์ทางด้านคุณภาพ ประกอบไปด้วย ความกรอบ, สี, ปริมาณความชื้น³ เราสามารถควบคุมคุณภาพเหล่านี้ได้จากอุณหภูมิและระยะเวลาในการทอดและการอบดักแด้ และ โดยทั่วไปแล้วขนาดของดักแด้ที่ต่างกัน จะต้องใช้ระยะเวลาที่ต่างกัน เพื่อรักษาคุณภาพให้ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่น ดักแด้ขนาดเล็กกว่าจะใช้เวลาในการทอดและการอบน้อยกว่าดักแด้ที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้คุณภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าหากดักแด้ที่มีขนาดใหญ่และเล็กปนกัน จะทำให้การตั้งเวลาสำหรับการทอดและการอบ มีความยุ่งยากในการที่จะรักษาคุณภาพของดักแด้ให้เท่ากันทุกตัว Figure 1 แสดงตัวอย่างของดักแด้ไหมอิตาลีที่มีขนาดต่างกัน ในปัจจุบัน ผู้ผลิตดักแด้กระป๋อง จะใช้แรงงานคนในการคัดแยก โดยจะทำผ่านตะแกรงร่อน ซึ่งมีข้อเสีย คือ ค่าความถูกต้องในการคัดต่ำ ได้ปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค และ ผู้ทำการคัดแยกเกิดความเมื่อยล้า ดังนั้น โครงการวิจัยนี้ จึงมีความประสงค์ที่จะสร้างเครื่องคัดแยกขนาดดักแด้ไหมอิตาลี ก่อนที่จะผ่านกระบวนการทอดและอบ โดยใช้หลักการของแมชชีนวิชัน (machine vision) และ กระบวนการวิเคราะห์ด้วยภาพ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานสำหรับกำหนดขนาดของดักแด้ ดังนั้น จากการสอบถามกับผู้ผลิต ผู้ผลิตได้กำหนดขนาดดักแด้ ดัง Table 1 โดยแบ่งแยกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ เล็กมาก เล็ก กลาง ใหญ่ และ ใหญ่มาก



Figure 1 Pupae with different size, from left to right: 33.2 mm, 31.3 mm, 24.1 mm, 20.1 mm and 18.4 mm

เครื่องคัดแยกขนาดดักแด้ไหมอิตาลีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ ส่วนของแมชชีนวิชัน ซึ่งทำหน้าที่ระบุตำแหน่งของดักแด้โดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพ และระบุระดับขนาด (size grade) ดัง Table 1 ให้กับดักแด้ตัวดังกล่าว ในส่วนที่ 2 คือ กลไกทางด้านการคัดแยก ซึ่งจะทำหน้าที่คัดแยกดักแด้ตามระดับขนาดที่ได้จากส่วนแรก กลไกในการคัดแยกนี้ จะประกอบไปด้วยหุ่นยนต์เดลต้า (delta robot) และชุดหัวดูดสุญญากาศ

Table 1 Pupae graded based on length

Size Grade	Size Description	Pupa Length (L) (mm)
1	very small	$L \leq 20$
2	Small	$20 \leq L \leq 24$
3	Medium	$24 \leq L \leq 28$
4	Large	$28 \leq L \leq 32$
5	very large	$L \geq 32$

ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับเครื่องคัดแยกโดยใช้กระบวนการประมวลผลภาพเพื่อทำการคัดแยกผลิตภัณฑ์ทางด้านเกษตรและอาหาร ตัวอย่างเช่น ผลไม้ ผัก เมล็ดธัญพืช และเนื้อ เป็นต้น⁴⁻⁸ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน ยังไม่มีเครื่องคัดแยกดักแด้ไหมอิตาลี ดังนั้น ปัญหานี้จึงเป็นปัญหาที่น่าท้าทายเป็นอย่างยิ่ง

หุ่นยนต์เดลต้า

หุ่นยนต์เดลต้าเป็นหุ่นยนต์ที่มีโครงสร้างแบบขนาน ดัง Figure 2 ซึ่งจะประกอบไปด้วยฐานสองส่วนคือ ฐานด้านบนที่อยู่กับที่ซึ่งประกอบด้วย มอเตอร์ 3 ตัวที่ถูกใช้ขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์ และมี end-effector ขนาดเล็กต่ออยู่ด้านล่างสุดของแขนหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่ของ end effector สามารถควบคุมได้จาก มอเตอร์ทั้ง 3 ตัว

หุ่นยนต์เดลต้าเป็นที่นิยมมากในงานด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง งานหยิบจับหรือการคัดแยกชิ้นส่วนหรือ



อุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจาก มีจุดเด่น คือ มีความเร็วสูงในการเคลื่อนที่ และ มีความแข็งแรงสูงในการหยิบจับ

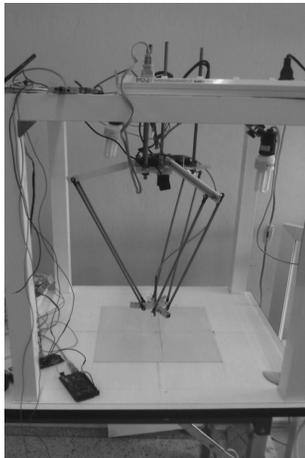


Figure 2 The delta robot

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เดลต้า นั้น เราจำเป็นต้องทราบ forward kinematics และ inverse kinematics นั่นคือ forward kinematics ถูกใช้ในกรณีที่เราทราบมุมการหมุนของมอเตอร์ แต่ต้องการหาตำแหน่งของ end effector ในขณะที่ inverse kinematics นั้น เราทราบตำแหน่งของ end effector แต่เราต้องการคำนวณมุมในการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ เพื่อให้ได้ตำแหน่ง end effector ที่เราต้องการ

ในการใช้งานสำหรับโครงการวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นการวิเคราะห์ inverse kinematics เนื่องจากว่า เราทราบตำแหน่งของดักแด้ที่จะถูกคัดแยก ดังนั้น เราจึงต้องคำนวณหาค่ามุมในการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ได้ตำแหน่ง end effector ที่เราต้องการ

ในการวิเคราะห์ inverse kinematics⁹ จากฐานรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าที่อยู่กับที่ จะมีมอเตอร์ติดตั้งไว้ 3 ตัว ในขณะที่ฐานรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ติดตั้ง end effector จะเคลื่อนที่ได้ โดยที่มุมในการขับเคลื่อนมอเตอร์กำหนดให้เป็น θ_1, θ_2 และ θ_3 และกำหนดตำแหน่งติดตั้ง end effector คือ พิกัด (x_0, y_0, z_0) หรือ จุด E_0 ดัง Figure 3 ในการวิเคราะห์ inverse kinematics เราต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัด (x_0, y_0, z_0) ซึ่งเราทราบค่า และ $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ ซึ่งเราไม่ทราบค่า

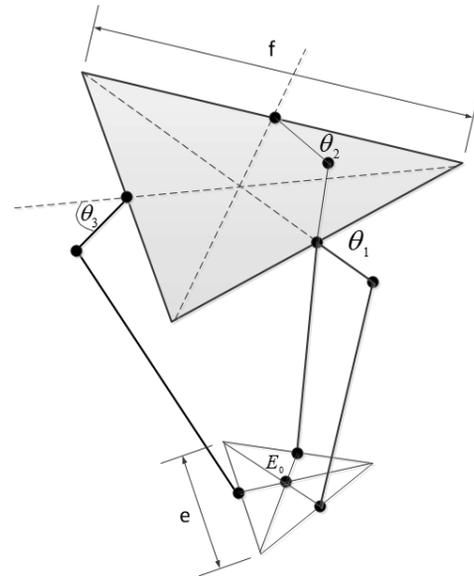


Figure 3 The parameter determination of $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ and point E_0 ⁹

กำหนดให้ความยาวของด้านของรูปสามเหลี่ยมที่อยู่กับที่ เป็นตัวแปร f ความยาวด้านของรูปสามเหลี่ยมที่เคลื่อนที่ได้ เป็นตัวแปร e ความยาวของแขนด้านบนเป็นตัวแปร r_f และความยาวของแขนด้านล่างที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมด้านขนานเป็นตัวแปร r_u และ กำหนดเฟรมอ้างอิง โดยเลือกจุดศูนย์กลางของรูปสามเหลี่ยมที่อยู่กับที่ เป็น จุดกำเนิดของเฟรมอ้างอิง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า พิกัดแกน z ของ end effector จะมีค่าเป็นลบเสมอ

ในการออกแบบ จุดหมุน J_1 และ F_1 ใน Figure 4 สามารถหมุนได้เฉพาะในระนาบ YZ ก่อให้เกิดวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางที่จุด F_1 และมีรัศมี r_f ในขณะที่ จุดหมุน E_1 ก่อให้เกิดทรงกลมที่มีจุดศูนย์กลางที่จุด E_1 และมีรัศมี r_u จาก Figure 4 จะสังเกตเห็นได้ว่า จะเกิดวงกลมของจุดตัดกันระหว่างทรงกลมนี้ กับระนาบ YZ โดยมีจุดศูนย์กลางที่จุด E'_1 และมีรัศมี $E'_1 J_1$ โดยที่ E'_1 คือ ตำแหน่งที่ E_1 ตกลงมากระทบกับระนาบ YZ

จาก Figure 4 จุด J_1 คือ จุดที่ตัดกันระหว่างวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางที่จุด E'_1 และ F_1 ดังนั้น จาก Figure 5 ถ้าหากเราทราบตำแหน่งของจุด J_1 พิกัด $(x_{J_1}, y_{J_1}, z_{J_1})$ เราสามารถคำนวณหามุม θ_1 ได้ตั้งขั้นตอนต่อไป

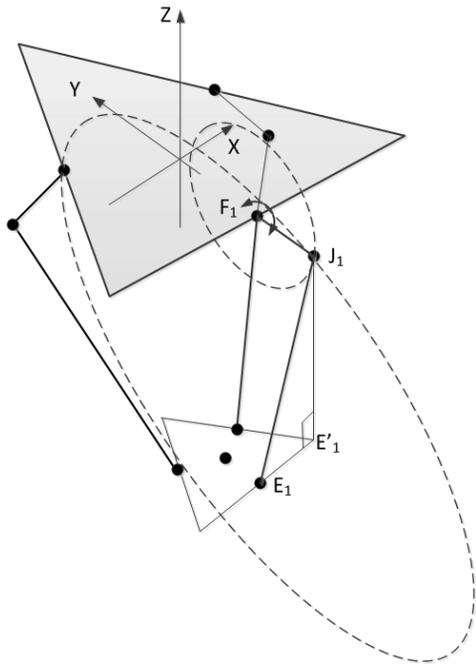


Figure 4 Intersection of a sphere with the origin of point E_1 and radius r_0 and YZ plane is a circle with the origin of point E_1' and radius $E_1'J_1$ ⁹

เนื่องจาก $E_0E_1 = \frac{e}{2} \tan 30^\circ = \frac{e}{2\sqrt{3}}$ ดังนั้น จะได้

$E_1(x_0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0)$ และ $E_1'(0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0)$ ซึ่งจะได้ว่า $E_1E_1' = x_0$

และ $E_1'J_1 = \sqrt{(E_1J_1)^2 - (E_1E_1')^2} = \sqrt{r_e^2 - x_0^2}$

ในขณะที่ $F_1'(0, -\frac{f}{2\sqrt{3}}, 0)$ ดังนั้นจะได้

$$(y_{J_1} - y_{F_1})^2 + (z_{J_1} - z_{F_1})^2 = r_f^2 \quad (1)$$

$$(y_{J_1} - y_{E_1})^2 + (z_{J_1} - z_{E_1})^2 = r_e^2 - x_0^2$$

ซึ่งก็คือ

$$\left(y_{J_1} + \frac{f}{2\sqrt{3}}\right)^2 + z_{J_1}^2 = r_f^2 \quad (2)$$

$$\left(y_{J_1} - y_0 + \frac{e}{2\sqrt{3}}\right)^2 + (z_{J_1} - z_0)^2 = r_e^2 - x_0^2$$

สุดท้ายจะได้

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{z_{J_1}}{y_{F_1} - y_{J_1}}\right) \quad (3)$$

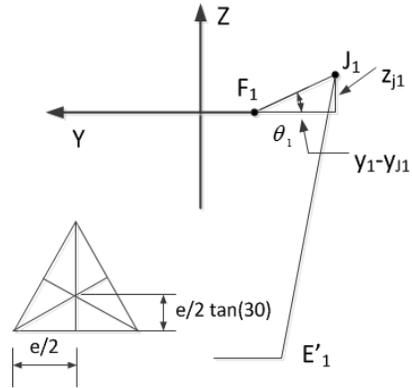


Figure 5 The intersection point on the YZ plane⁹

เนื่องจาก จุดเชื่อมต่อ F_1 และ J_1 เคลื่อนที่บนระนาบ YZ เท่านั้น ดังนั้น เราจึงสามารถละเว้นค่าพิกัดทางแกน X ได้ ซึ่งจะทำให้เราสามารถคำนวณหามุมที่เหลือ คือ θ_2 และ θ_3 ได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของหุ่นยนต์ ด้วยการหมุนระบบพิกัดในระนาบ XY รอบแกน Z เป็นมุม 120 องศา แบบทวนเข็มนาฬิกา สำหรับคำนวณหามุม θ_2 และมุมอีก 120 องศา สำหรับคำนวณหามุม θ_3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องคัดแยกขนาดผักโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับกลไกคัดแยกซึ่งประกอบด้วยหุ่นยนต์เดลต้าและชุดหัวดูดสุญญากาศ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ใช้โปรแกรม MATLAB ทำการอ่านภาพผักตัดที่ถ่ายด้วยกล้อง webcam โดยที่ผักวางอยู่ใต้กล้อง ภายในพื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลต้า
2. เขียนโปรแกรมประมวลผลภาพเพื่อหาดำแหน่งขนาดความยาว และระดับขนาด ของผักแต่ละตัว
3. ส่งค่าตำแหน่งและระดับขนาดของผักไปยังบอร์ด Arduino
4. บอร์ด Arduino ทำการคำนวณหามุม $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ ของหุ่นยนต์เดลต้าด้วยสมการ inverse kinematics
5. บอร์ด Arduino ส่งคำสั่งไปยัง RC servo motor driver เพื่อส่งพัลส์ไปยัง RC servo motor ทั้ง 3 ตัวที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนแขนหุ่นยนต์
6. เมื่อ end effector เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ทำการเปิดวาล์วของหัวดูดสุญญากาศ เพื่อทำการดูดผัก
7. บอร์ด Arduino ส่งคำสั่งไปยัง RC servo motor driver เพื่อส่งพัลส์ไปยัง RC servo motor ทั้ง 3 ตัว ให้เคลื่อนที่ไปยังสถานะจัดเก็บผักแต่ละตัวตามระดับขนาดของผักแต่ละตัวนั้น แล้วทำการปิดวาล์วเพื่อปล่อยผัก



8. กลับไปขั้นตอนที่ (3) จนกว่าจะครบจำนวน
ดักแต่ที่ถูกประมวลผล

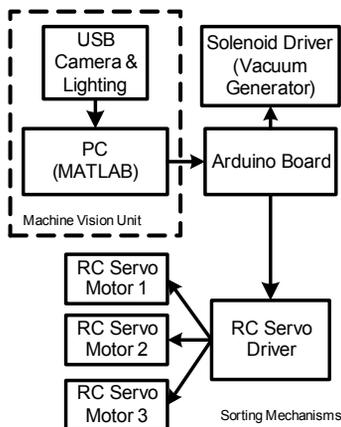


Figure 6 Block diagram of main components

จากขั้นตอนการทำงานข้างต้น เครื่องคัดแยกขนาด
ดักแต่ในโครงการวิจัยนี้ สามารถแบ่งส่วนประกอบได้เป็น 2
ส่วนหลัก คือ ชุดแมชชีนวิชัน และ ชุดกลไกคัดแยก ดังแสดง
ใน Figure 6

ชุดแมชชีนวิชัน ประกอบไปด้วยระบบให้แสง, กล้อง
webcam และคอมพิวเตอร์ โดย โปรแกรม MATLAB ทำหน้าที่
อ่านภาพที่ได้กล้อง webcam แล้วนำมาประมวลผลภาพ ขั้นตอนการประมวลผลภาพ เป็นดังนี้

1. ทำการตัดภาพเฉพาะส่วนที่สนใจ นั่นคือ ภายใน
พื้นที่ทำงานของหุ่นยนต์เดลต้า
2. ทำภาพขาวดำจากภาพสี (RGB) ที่ได้ โดย
กำหนดค่า threshold ที่ 100 เนื่องจากดักแต่มีสีดำ ขณะที่
พื้นหลังเป็นสีขาว แล้วทำการกลับสีขาวเป็นสีดำ สีดำเป็นสี
ขาว
3. ทำ closing และ hole-filling แล้วทำการกำจัด
วัตถุที่มีพื้นที่เล็กออกไปจากภาพ
4. คำนวณ Minimum Bounding Box (MBB) และ
ใช้ความยาวของ MBB แทนความยาวของดักแต่
5. ทำการแปลงหน่วยจาก pixel เป็น มิลลิเมตร
พร้อมทั้งระบุระดับขนาดตาม Table 1

ตัวอย่างเช่น Figure 7(b)-(d) แสดงผลที่ได้จากขั้น
ตอนที่ (2), (3), และ (5) ซึ่งผลลัพธ์ คือ ระดับขนาด มีค่าเท่ากับ
4 หลังจากทำโปรแกรมทำการคำนวณหาตำแหน่งและระดับ
ขนาดได้แล้ว ค่าเหล่านี้ จะถูกส่งไปยังชุดกลไกคัดแยกต่อไป
ชุดกลไกคัดแยกประกอบด้วยหุ่นยนต์เดลต้าและชุดหัวดูด
สูญญากาศ โครงสร้าง 3 มิติแสดงขนาดของแต่ละส่วน ดัง
Figure 8 โดยมีระยะ $f = 200$ มิลลิเมตร, $e = 85$ มิลลิเมตร,
 $r_f = 176.16$ มิลลิเมตร และ $r_o = 389.25$ มิลลิเมตร เมื่อทำการ
จัดสร้างจริงได้ดัง Figure 2 ข้างต้น

เมื่อบอร์ด Arduino ได้รับค่าตำแหน่งและระดับขนาด
ของดักแต่แล้ว ก็จะทำควบคุมหุ่นยนต์เดลต้า ไปยัง
ตำแหน่งที่ระบุ หลังจากนั้น จะทำการเปิดวาล์วเพื่อดูดดักแต่
ด้วยหัวดูดสูญญากาศ แล้วหุ่นยนต์เดลต้าก็จะนำดักแต่นั้นไป
ยังภาชนะจัดเก็บสำหรับดักแต่ ตามระดับขนาดที่ระบุ

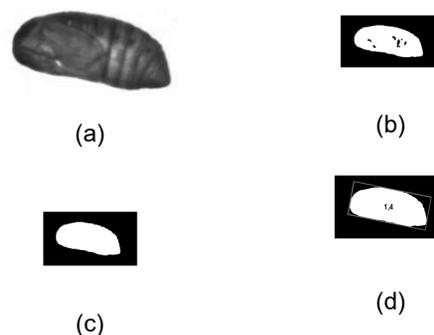


Figure 7 An example of how to extract information
from pupa samples: (a) an origin image, (b)
a segmented image processed by pre-
processing and segmentation operations, (b)
a resulting image after morphological opera-
tions are performed, (d) x, y where x is the
pupa number and y is the size grade

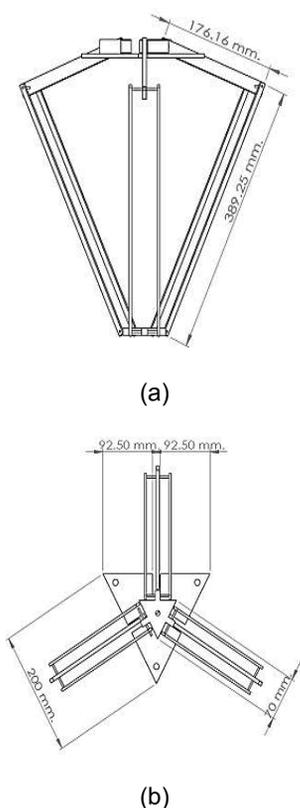


Figure 8 SolidWorks design drawing showing the dimension of the delta robot: (a) side view, (b) bottom view

ผลการทดลอง

เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ได้พัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้ การทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของกรรมวิธีทางด้านการประมวลผลภาพ และ ส่วนของการคัดแยกดักแด้

การทดสอบกรรมวิธีทางด้านการประมวลผลภาพ

ภาพของดักแด้ใหม่อีรี่ที่ถูกถ่ายด้วยกล้อง webcam จะถูกประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยกรรมวิธีที่นำเสนอใน วิธีการดำเนินงานวิจัย ข้อมูลที่ได้จากการประมวล คือ ระดับขนาดและตำแหน่ง ดังแสดงใน Figure 9 โดยที่ดักแด้แต่ละตัว จะมี 2 หมายเลข หมายเลขตัวแรกจะเป็นหมายเลขเพื่อระบุตำแหน่งและหมายเลขตัวที่ 2 คือ ระดับขนาด

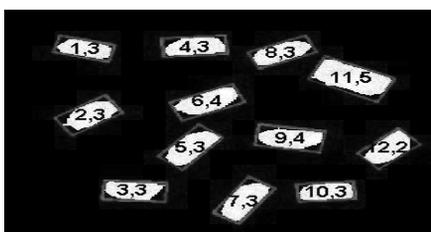


Figure 9 The resulting image after being processed

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพและการวัดขนาดดักแด้ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของกรรมวิธีประมวลผลภาพที่นำเสนอ ได้ผลดัง Table 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

การทดสอบการคัดแยกดักแด้

เพื่อทดสอบการทำงานของชุดกลไกคัดแยกขนาดดักแด้ ดักแด้จำนวน 500 ตัว ได้ถูกแบ่งเป็นชุดๆ ละ 20 ตัว จำนวนทั้งหมด 25 ชุด ทำการทดสอบโดยการนับจำนวนดักแด้ที่ถูกคัดแยกตามระดับขนาดที่ถูกต้อง ซึ่งได้แก่ เล็กมาก, เล็ก, กลาง, ใหญ่ และ ใหญ่มาก และนับจำนวนดักแด้ที่คัดแยกไม่ถูกต้อง ซึ่งเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ชุดกลไกคัดแยกไม่สามารถดูดจับดักแด้ได้ และ กรณีที่หุ่นยนต์เคลื่อนตำแหน่งที่ไม่ตรงกับตำแหน่งดักแด้ที่ต้องการคัดแยก ผลการทดสอบเป็นดัง Table 3

Table 2 Comparison results between pupa length measured by using Vernier Caliper and pupa length measured through image processing techniques.

No	Pupa Length (mm)	
	Vernier Caliper	The proposed methods
1	25.0	25.2
2	24.5	24.8
3	20.1	20.2
4	25.0	25.2
5	21.5	21.7
6	22.1	21.3
7	22.5	22.8
8	26.0	26.1
9	23.1	23.2
10	28.2	28.3

จาก Table 3 สรุป ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 55.6% ซึ่งค่อนข้างสูง สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของโครงสร้างทางกลของหุ่นยนต์เคลื่อนตำแหน่ง ทำให้การเคลื่อนที่ของ end effector ไปยังตำแหน่งดักแด้มีความคลาดเคลื่อน ต่างไปจากสมการ inverse kinematics ที่คำนวณได้เชิงทฤษฎี

สำหรับเวลาในการคัดแยกเฉลี่ยนั้น อยู่ที่ 3.02 นาที สำหรับคัดแยกดักแด้จำนวน 20 ตัว อย่างไรก็ตาม เวลาในการคัดแยกนี้ สามารถปรับลงได้ด้วยการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ชุดกลไกการคัดแยก



สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากผู้ประกอบการดักด้งกระป๋องต้องการดักด้งที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งจะทำให้การตั้งเวลาสำหรับการอบแห้งและการทอดสะดวกมากขึ้น จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ คือ การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกขนาดดักด้งใหม่อีกรุ่น โดยจะทำการคัดแยกเป็น 5 ขนาด คือ เล็กมาก, เล็ก, กลาง, ใหญ่ และ ใหญ่มาก

Table 3 The accuracy of the sorting mechanisms

Set No	Number of Pupae moved to the correct container					Number of pupae remained
	1	2	3	4	5	
1	0	2	7	1	1	9
2	0	2	6	0	0	12
3	1	2	4	1	0	12
4	1	0	5	1	0	13
5	0	0	9	3	0	8
6	0	1	4	2	2	11
7	0	0	5	7	0	8
8	2	1	4	0	1	12
9	0	0	4	2	0	14
10	0	1	4	0	1	14
11	1	2	4	0	2	11
12	0	2	3	1	3	11
13	0	2	5	1	0	12
14	1	2	4	0	4	9
15	0	3	5	0	0	12
16	0	2	3	1	0	14
17	1	3	2	0	0	14
18	2	2	1	0	1	14
19	1	3	4	0	0	12
20	0	2	3	0	2	13
21	2	3	4	1	0	10
22	0	6	2	4	2	6
23	3	1	3	2	0	11
24	0	4	1	4	2	9
25	2	2	6	2	1	7
Average						11.12

จากการทดสอบ พบว่า ชุดแมชชีนวิชั่นสามารถคำนวณหาตำแหน่งและความยาวของดักด้งได้อย่างแม่นยำ

แต่ความถูกต้องของชุดกลไกคัดแยกขนาดมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของโครงสร้างทางกล อย่างไรก็ตาม เครื่องคัดแยกขนาดดักด้งต้นแบบนี้ สามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการคัดแยก และ ลดการใช้แรงงานคนได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด พงษ์เพชร อินเตอร์ฟาร์ม ที่เอื้อเฟื้อดักด้งที่ใช้ในการทดสอบ และโครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัยอาจารย์ทั่วไปเผยแพร่ผลงานระดับชาติ งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2558 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Wang W, Shen S, Chen Q, Tanga B, He G, Ruan H, Das UN. Hydrolyzates of silkworm pupae (*Bombyx mori*) protein is a new source of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides (ACEIP). *Curr Pharm Biotechnol* 2008;9(4):307-14.
2. Zhou J, Han DX. Proximate, amino acid and mineral composition of pupae of the silkworm *Antheraea pernyi* in China. *J Food Compos Anal* 2006;19(8): 850-3.
3. ชวธีร์ ศรีแก้ว, สิริชัย ส่งเสริมพงษ์. กระบวนการแปรรูปดักด้งใหม่อีกรุ่น. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2555. หน้า 234 – 43.
4. Davies ER. The application of machine vision to food and agriculture: a review. *The Imaging Sci J* 2009; 57(4):197-217.
5. Patel KK, Kar A, Jha SN, Khan MA. Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. *J Food Sci Technol* 2012; 49(2):123-41.
6. Brosnan T, Sun D. Improving quality inspection of food products by computer vision - a review. *J Food Eng* 2004;61(3):3-16.
7. Costa C, Antonucci F, Pallottino F, Aguzzi J, Sun D, Menesatti P. Shape analysis of agricultural products: a review of recent research advances and potential application to computer vision. *Food Bioprocess Technol* 2011;4(5):673-92.



8. Gomes JFS, Leta FR. Applications of computer vision techniques in the agriculture and food industry: a review. *Eur Food Res Technol* 2012;235:989-1000.
9. Trossen Robotics Community. Delta robot kinematics. Available from:<http://forums.trossenrobotics.com/tutorials/introduction129/delta-robot-kinematics-3276>. Accessed May 25, 2015.