

การวัดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนด้วย การเข้ารหัสแบบรันเลนท์และวิธีถดถอยแบบทำซ้ำ Measuring the Length of Baby Corn by Using Run-length Encoding and Iterative Regression Method

อมรฤทธิ์ พุทธิพิพัฒนขจร*

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Amornrit Puttipipatkajorn*

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen,
Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนโดยกระบวนการถ่ายภาพ ซึ่งลักษณะของข้าวโพดฝักอ่อนที่ปรากฏในภาพจะถูกจัดวางอย่างสุ่มและมีจำนวนมากกว่หนึ่งฝักต่อภาพ ด้วยวิธีการเข้ารหัสแบบรันเลนท์และวิธีถดถอยแบบทำซ้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ การสร้างอุปกรณ์รับภาพซึ่งจะถูกกำหนดสภาพแวดล้อม เช่น ความสว่าง ความสูงของกล้อง ให้สัมพันธ์กับการสอบเทียบขนาดของวัตถุจริงกับวัตถุที่ปรากฏบนภาพ ขั้นตอนถัดมาเป็นการแยกองค์ประกอบของภาพออกเป็นส่วน ๆ ด้วยวิธีการเข้ารหัสแบบรันเลนท์ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการวัดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนโดยใช้วิธีถดถอยแบบทำซ้ำเพื่อประมาณการหมุนของภาพ จากการทดสอบพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถวัดความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนได้อย่างแม่นยำเฉลี่ยถึง 98.93 % และสามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องมือและช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้

คำสำคัญ : ข้าวโพดฝักอ่อน; ประมวลผลภาพ; เข้ารหัสแบบรันเลนท์; ถดถอยแบบทำซ้ำ

Abstract

This research aims to measure the length of baby corn by using image processing technique including the run-length encoding and the iterative regression method. The method consists of 3 phases. The first one is acquire an image from the video input device (camera) by setting the environment of the camera such as the brightness and the height of the camera to get the relationship between size of real object and size of the object in the image. The second one is to segment the image by using the run-length encoding method and the last one is to rotate

*ผู้รับผิดชอบบทความ : fengarp@ku.ac.th

the segmented image by using the iterative algorithm based on regression estimation which is proposed in this research. The experiments shown that the proposed method can measure the length of baby corn with the accuracy up to 98.93 % and it could be developed to use for industry and may help reduce the production costs.

Keywords: baby corn; image processing; run-length encoding; iterative regression

1. บทนำ

ข้าวโพดฝักอ่อนถือว่าเป็นพืชอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งและเป็นที่ต้องการของตลาดโลก โดยที่ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก เนื่องจากเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น โดยใช้เวลาเพาะปลูกเพียง 60-70 วัน เกษตรกรจึงสามารถปลูกได้ปีละหลาย ๆ ครั้ง และสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศได้ปีละกว่าพันล้านบาท [1] โดยทั่วไปข้าวโพดฝักอ่อนที่ใช้โรงงานอุตสาหกรรมจะต้องนำเปลือกออก ฝักสมบูรณ์ไม่หักหรือคดงอ ไม่มีรอยมีดกรีดหรือรอยตำ และต้องเอาเส้นไหมออกให้หมด หลังจากนั้นจะทำการคัดขนาดตามความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนซึ่งจำแนกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (L) มีความยาว 9-13 ซม. ขนาดกลาง (M) มีความยาว 7-9 ซม. และขนาดเล็ก (S) มีความยาว 4-7 ซม. ตามลำดับ [2]

เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ออกจากโรงงานอุตสาหกรรมมีคุณภาพและรวดเร็ว การคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ แต่ปัจจุบันกระบวนการคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนยังพึ่งพาแรงงานคนและไม่สามารถควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐานของการคัดขนาดที่กำหนด เช่น ขนาดที่ได้ไม่ตรงตามมาตรฐาน ฝักชำ ทำให้เกิดการเสียหายกับผู้ส่งออก จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีผู้วิจัยเสนอวิธีการคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนหลายวิธี เช่น ภารต และคณะ [3] ออกแบบเครื่องคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนตามความยาว โดยใช้หลักการสั่นด้วยจำนวนครั้งที่เหมาะสม โดยมีหลักการคือปล่อยให้ข้าวโพดฝักอ่อนเคลื่อนที่ผ่านช่อง

ที่กำหนดระยะค่าหนึ่ง ถ้าข้าวโพดมีความยาวกว่าขนาดของช่องว่างก็จะผ่านไปได้ ส่วนข้าวโพดที่มีขนาดสั้นกว่าช่องว่างก็จะตกลงไปในถาดด้านล่าง ซึ่งถาดจะมี 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ หรืองานวิจัยของนิธิ [4] เสนอวิธีวัดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนโดยกระบวนการถ่ายภาพ ซึ่งวิธีที่เสนอสามารถคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนได้เพียงทิศทางเดียว หมายความว่าต้องป้อนข้าวโพดฝักอ่อนเข้าสู่ระบบคัดขนาดโดยการจัดเรียงให้อยู่ในแนวการวางที่กำหนด เช่น วางในแนวนอนหรือแนวตั้งเท่านั้น โดยที่อัลกอริทึมที่ออกแบบไม่สามารถวัดขนาดเมื่อข้าวโพดฝักอ่อนเข้ามาในทิศทางใด ๆ ได้ ส่วนงานวิจัยของอมรฤทธิ์ [5] ได้เสนอวิธีการวัดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนด้วยการถ่ายภาพ โดยใช้วิธีถดถอยแบบทำซ้ำ (iterative regression method) ซึ่งวิธีการนี้สามารถคำนวณความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนได้หลายทิศทางอย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถประมวลผลภาพข้าวโพดฝักอ่อนที่มีจำนวนข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าหนึ่งฝักได้

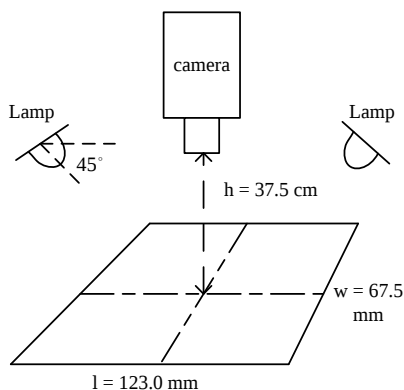
ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยขอเสนอวิธีการเพิ่มเติมเพื่อช่วยให้การวัดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยสามารถประมวลผลภาพที่มีจำนวนข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าหนึ่งฝักต่อภาพได้ วิธีการที่จะกล่าวถึงในงานวิจัยคือวิธีเข้ารหัสแบบรันเลนธ์ (run-length encoding method) ซึ่งจะถูกนำมาใช้ร่วมกับวิธีถดถอยซ้ำที่แข็งแกร่ง โดยวิธีเข้ารหัสแบบรันเลนธ์ทำหน้าที่แยกข้าวโพดฝักอ่อนออกจากกัน

ส่วนวิธีตัดถอยแบบทำซ้ำทำหน้าที่คำนวณหาความยาว โดยการประมาณมุมการวางของข้าวโพดฝักอ่อนบนภาพที่ได้รับจากขั้นตอนแรก เพื่อกำหนดองศาการหมุนของภาพ ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำ ๆ ไปจนกระทั่งมุมที่ถูกคำนวณมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหรือเป็นศูนย์จึงจะหยุด หลังจากนั้นภาพของข้าวโพดฝักอ่อนที่ได้จะถูกนำไปคำนวณหาความยาวจริงโดยการคูณด้วยอัตราส่วนสอบเทียบที่กำหนดไว้ในกาทดลอง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์รับภาพและขั้นตอนการรับภาพ

การวัดความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนด้วยวิธีการนี้จะอาศัยกระบวนการถ่ายภาพและนำภาพที่ได้ไปประมวลผลเพื่อหาความยาวที่ต้องการ ดังนั้นในขั้นตอนแรกเราจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรับภาพเสียก่อน โดยที่อุปกรณ์รับภาพสร้างจากกล้องทึบแสงขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงขนาด (20 x 30 x 50) เซนติเมตร ซึ่งภายในติดตั้งกล้อง CCD รุ่น FK-524F ความละเอียด 640 x 480 พิกเซล และหลอดไฟเพื่อให้แสงสว่างจำนวนสองหลอดที่มุมด้านบนซ้ายและขวาตามลำดับ โดยที่หลอดไฟทั้งสองจะทำมุมตกกระทบที่ 45 องศา เข้าหาฉากรับภาพ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การติดตั้งกล้องและหลอดไฟที่มุมด้านซ้ายและมุมด้านขวา

2.2 การประมวลผลเบื้องต้น

การประมวลผลเบื้องต้น (pre-processing) ทำหน้าที่ปรับสภาพแวดล้อมของอุปกรณ์รับภาพให้ได้ภาพที่มีความสมบูรณ์ก่อนนำไปสู่ขั้นตอนถัดไป การประมวลผลเบื้องต้นจะดำเนินการ 3 ส่วน คือ ส่วนการปรับความสว่างของแสงที่อยู่ภายในกล้องรับภาพให้สม่ำเสมอโดยการตรวจสอบจากภาพที่ได้รับจากกล้องผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลการทดสอบสรุปว่าแสงที่พอเหมาะจะต้องไม่ทำให้ภาพของวัตถุที่ต้องการ (foreground) สว่างมากเกินไปเมื่อเทียบกับภาพพื้นหลัง (background) และไม่ควรให้ความสว่างน้อยเกินไปจนทำให้ภาพของวัตถุที่ต้องการกลืนไปกับภาพพื้นหลัง [6] ส่วนที่สองทำหน้าที่สอบเทียบ (calibration) ความสูงของกล้องเทียบกับฉากรับภาพในแนวดิ่ง โดยสร้างฉากรับภาพเป็นตารางหมากรุกซึ่งรู้ค่าความยาวและความกว้างแน่นอน จากนั้นตั้งระยะความสูงของกล้องให้เห็นฉากรับภาพอย่างชัดเจน และเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากกล้องและตารางหมากรุก ซึ่งระยะความสูงนี้แสดงความสัมพันธ์ของขนาดวัตถุจริง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร) กับขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ (หน่วยเป็นพิกเซล) ซึ่งจากการทดลองได้กำหนดให้ความสูงของกล้องจากฉากรับภาพมีค่า 37.5 เซนติเมตร และได้ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุจริงและวัตถุที่ปรากฏบนภาพ ส่วนสุดท้ายทำหน้าที่เปลี่ยนภาพสีที่ได้รับจากกล้องให้เป็นภาพขาวดำและภาพไบนารีตามลำดับ (ตารางที่ 1)

2.3 การแยกองค์ประกอบภาพ

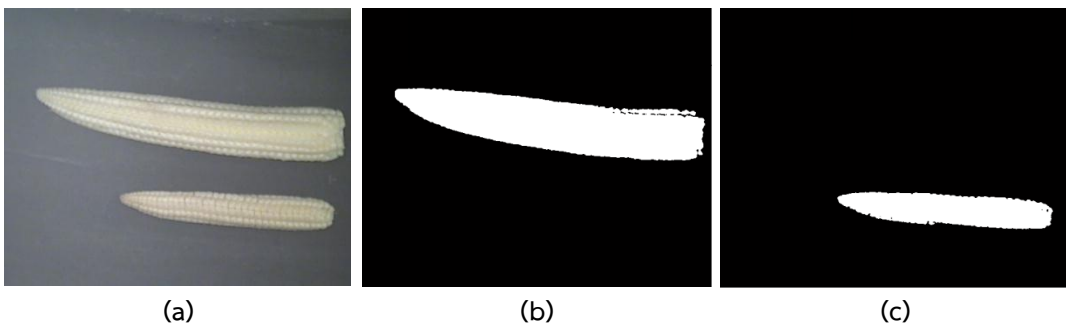
การแยกองค์ประกอบภาพเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากภาพที่รับจากกล้องมีจำนวนของข้าวโพดฝักอ่อนมากกว่าครึ่งหนึ่งฝัก ดังนั้นการจะวัดความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนแต่ละฝักโดยอาศัยภาพ ๆ เดียวนั้นไม่สามารถทำได้โดยง่าย จึงมีแนวคิดที่จะแยกองค์ประกอบของภาพหรือข้าวโพดฝัก

อ่อนออกจากกันโดยใช้วิธีการเข้ารหัสแบบรันเลนทหรือ run-length encoding และสร้างภาพใหม่ที่แต่ละภาพมีข้าวโพดฝักอ่อนเพียงฝักเดียว ซึ่งจำนวนภาพ

ที่สร้างขึ้นมาก็จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนข้าวโพดฝักอ่อนที่ปรากฏในภาพแรกที่ได้รับจากกล้องดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุจริงและวัตถุที่ปรากฏบนภาพสำหรับภาพขนาด 640 × 480 พิกเซล ที่ความสูงของกล้อง 37.5 เซนติเมตร จากฉากรับภาพ

ความสูงกล้อง (cm)	ขนาดของฉากรับภาพ		อัตราส่วนสอบเทียบ	
	แกนนอน (mm)	แกนตั้ง (mm)	แกนนอน (mm/pixel)	แกนตั้ง (mm/pixel)
37.5	123.0	67.5	0.1921875	0.1406250



รูปที่ 2 ภาพข้าวโพดฝักอ่อนที่ได้รับจากกล้อง (a) และภาพข้าวโพดฝักอ่อนที่ถูกแยกด้วยวิธี run-length encoding (b และ c)

ในส่วนนี้จะขอเสนอวิธี run-length encoding [7] ซึ่งนำมาช่วยในการแยกองค์ประกอบของภาพออกเป็นส่วน ๆ โดยอาศัยหลักการว่าพิกเซลที่อยู่ติดกันจะเป็นส่วนเดียวกัน สำหรับการอธิบายหลักการทำงานของ run-length encoding จะนำเสนอเป็นภาพไบนารีจำลองขนาด 10 × 10 พิกเซล แทนดังรูปที่ 3a เนื่องจากภาพข้าวโพดฝักอ่อนจริง ๆ มีขนาดใหญ่ไม่สามารถนำมาแสดงได้

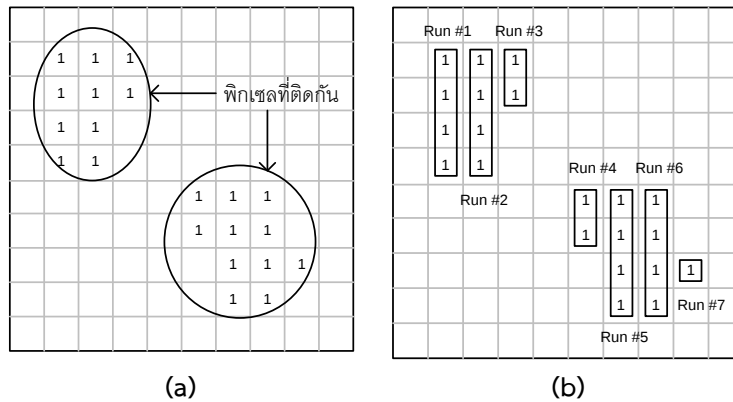
กระบวนการจับกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกันด้วยวิธี run-length encoding เริ่มต้นโดยการหาค่า RUN หรือค่าที่แสดงจำนวนของค่า 1 ที่ติดกันก่อน ซึ่งการหาค่า RUN สามารถทำได้หลายวิธีเช่นการหาค่า 1 ที่ติดกันในแนวนอน การหาค่า 1 ที่ติดกันในแนวตั้ง

หรือการหาค่า 1 ที่ติดกันในแนวซิกแซก เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาค่า 1 ที่ติดกันในแนวตั้งดังรูปที่ 3b และสามารถแจกแจงเซตของ RUN ที่อยู่ติดกันเป็นคู่ ๆ ดังรูปที่ 4a

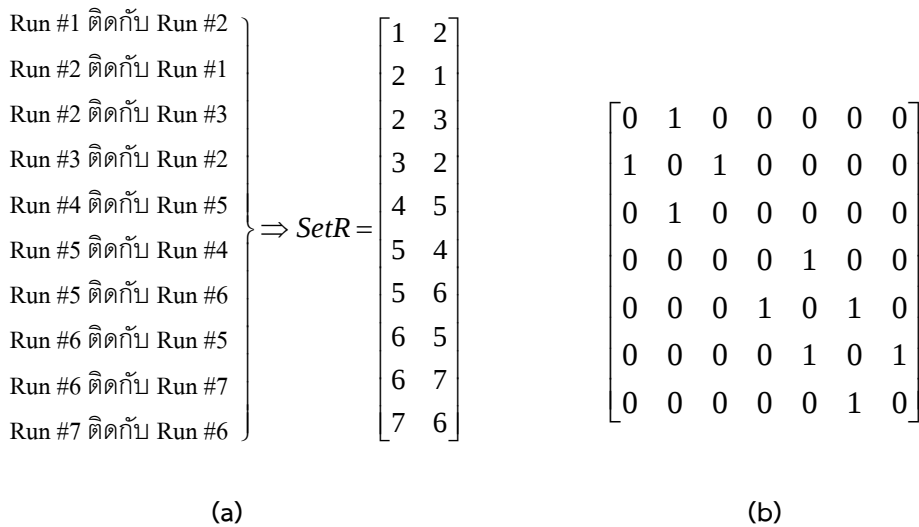
หลังจากนั้นจะนำเซตของ RUN ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้ามาสร้างเมทริกซ์เรียกว่า sparse adjacency matrix ซึ่งสมาชิกที่ไม่ใช่ศูนย์ของเมทริกซ์หมายถึงคู่ลำดับของ RUN ที่อยู่ติดกันแสดงได้ดังรูปที่ 4b วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งเนื่องจากภาพที่เข้ามาจะถูกสแกนแต่ละพิกเซลเพียงครั้งเดียวส่งผลให้ adjacency matrix ที่ได้มีขนาด $R \times R$ เมื่อ R คือจำนวนของ RUN ซึ่งพบว่ามีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของภาพและจาก adjacency

matrix ที่ได้จะสังเกตว่ามีการแยกกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม อย่างชัดเจน คือ Run #1, Run #2 และ Run #3 อยู่กลุ่มเดียวกัน ส่วน Run #4 - Run #7 อยู่ในกลุ่มที่ 2 ในกรณีถ้าจำนวนพิกเซลที่อยู่ติดกันมากกว่าสองกลุ่ม ค่าลำดับของ Run ที่ติดกันก็จะไปปรากฏใน

adjacency matrix ตามค่าลำดับของ Run ที่เกิดขึ้น ขั้นตอนถัดมาจะทำการนำองค์ประกอบของภาพหรือข่าวโพตฝึก่อนที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าไปคำนวณหาขนาดความยาวด้วยวิธีถดถอยซ้ำที่แข็งแกร่งซึ่งจะกล่าวถึงในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 3 ภาพไบนารีจำลองขนาด 10 x 10 พิกเซล (a) และกลุ่มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน (b)



รูปที่ 4 เซตของ Run ที่อยู่ติดกัน (a) และ sparse adjacency matrix (b)

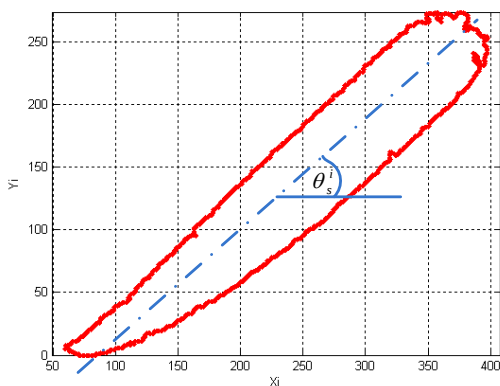
2.4 การวัดความยาวด้วยวิธีถดถอยแบบทำซ้ำ

หลังจากเราได้แยกภาพข่าวโพตฝึก่อนออกเป็นภาพย่อย ๆ แล้ว ในขั้นตอนนี้เราจะนำภาพที่

ได้เหล่านั้นมาทำการวัดความยาวด้วยวิธีถดถอยแบบทำซ้ำซึ่งหลักการสำคัญของวิธีนี้ก็คือการประมาณองศาของภาพโดยใช้ least median of squares regression (LMS) [8,9] โดยการกำหนดค่าลำดับให้จุด

หรือพิกเซลของภาพ หลังจากนั้นจะประมาณสมการเส้นตรงและความชันของข้อมูล ซึ่งแนวองศาของความชันที่ได้จะแทนมุมหรือองศาของภาพในขณะนั้น ขั้นตอนถัดมาจะทำการหมุนภาพด้วยจำนวนองศาเท่ากับที่คำนวณได้ และกระบวนการจะเกิดซ้ำ ๆ จนกระทั่งภาพของข้าวโพดฝักอ่อนเรียงตัวในแนวระนาบทำให้สามารถวัดความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนได้โดยง่าย ส่วนอัลกอริทึมถดถอยแบบทำซ้ำ (iterative regression) แสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้ [5]

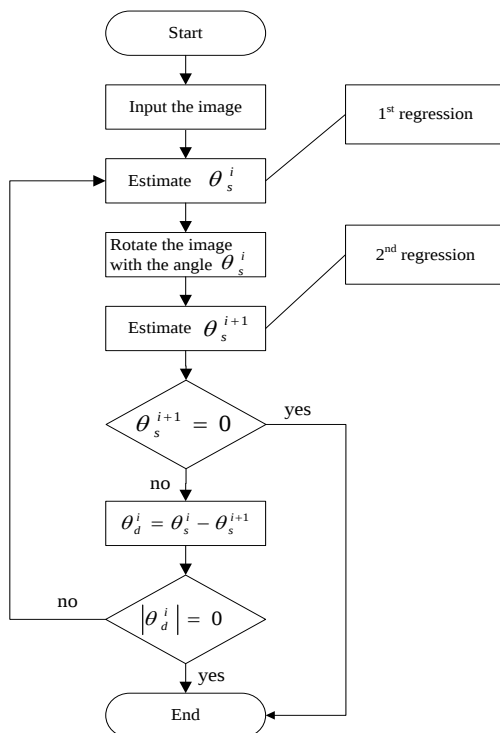
2.4.1 ประมาณสมการเส้นตรงของคู่ลำดับ (X_i, Y_i) ของภาพด้วยวิธี LMS และผลที่ได้คือสมการเส้นตรงจะลากผ่านแนวเส้นผ่านศูนย์กลางตามแนวยาวของข้าวโพดฝักอ่อน ซึ่งทำให้ทราบตำแหน่งหรือมุม (θ_s^i) ของการวางของข้าวโพดฝักอ่อนเมื่อเทียบกับแนวแกนอนดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 มุมของภาพข้าวโพดฝักอ่อนเทียบกับแนวแกนอน

2.4.2 ทำการหมุนภาพโดยกำหนดองศาการหมุนให้เท่ากับมุมที่คำนวณได้ ดำเนินการตามข้อ 2.4.1 อีกครั้งและตรวจสอบว่ามุมที่คำนวณได้ (θ_s^{i+1}) มีค่าแตกต่างจากมุมที่คำนวณได้ในข้อ 2.4.2 หรือไม่ $(\theta_d^i = \theta_s^i - \theta_s^{i+1})$ ถ้าหากไม่เท่ากันหรือมุมไม่เป็นศูนย์ให้หมุนภาพไปอีกเท่ากับค่ามุมใหม่ที่คำนวณได้

2.4.3 ทำซ้ำข้อ 2.4.1-2.4.2 จนกระทั่งมุมที่คำนวณได้มีค่าเป็นศูนย์หรือมีค่าเท่ากับมุมในรอบการคำนวณก่อนหน้านี้จึงหยุดการคำนวณซึ่งไดอะแกรมแสดงการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 6



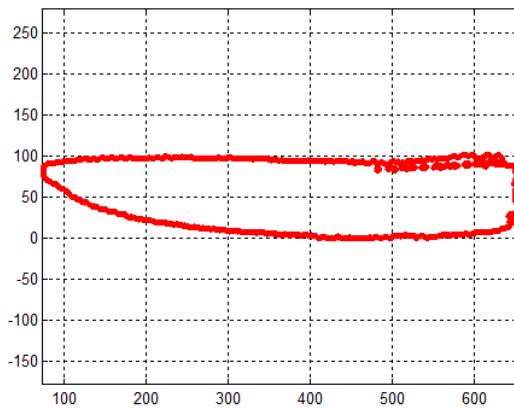
รูปที่ 6 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของอัลกอริทึม

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

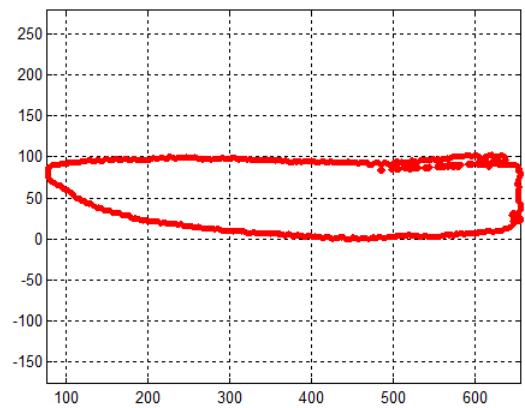
ในส่วนนี้จะขอยกตัวอย่างผลการคำนวณความยาวข้าวโพดฝักอ่อนด้วยขั้นตอนที่ได้นำเสนอโดยใช้ภาพที่มีข้าวโพดฝักอ่อนจำนวนสองฝักและเมื่อใช้วิธี run-length encoding จะได้ภาพข้าวโพดฝักอ่อน 2 ภาพ โดยที่แต่ละภาพมีข้าวโพดฝักอ่อนปรากฏอยู่เพียงฝักเดียวดังรูปที่ 2b และ 2c ขั้นตอนถัดมานำภาพทั้งสองมาหาขอบภาพและคำนวณหามุมด้วยวิธีถดถอยซ้ำที่แข็งแกร่ง โดยจะขอยกตัวอย่างเพียงการคำนวณความยาวของรูป 2b ส่วนการคำนวณของรูป 2c จะกระทำด้วยวิธีการเดียวกัน

เมื่อนำรูป 2b มาทำการประมวลผลพบว่าเกิดการทำซ้ำทั้งหมด 4 รอบ โดยรอบแรกคือมุมเริ่มต้นของภาพมีค่า $\theta_1^1 = -5.2257$ องศา ซึ่งมุมที่ได้นี้จะถูกกำหนดให้เป็นองศาการหมุนของภาพซึ่งถูกต้องตั้งสมมติฐานว่าจะเป็นมุมที่ทำกับแนวแกนนอนพอดี แต่เมื่อหมุนภาพไปเท่ากับมุมดังกล่าวจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 7a ถัดมาให้คำนวณหามุมใหม่ในรอบที่สองปรากฏว่ามุมมีค่าลดลงเหลือ $\theta_2^2 = -0.1957$ องศา

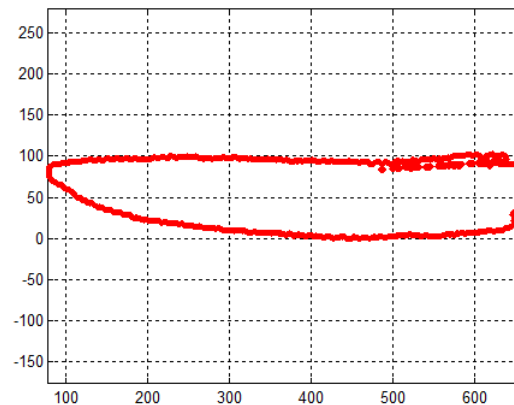
ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์และไม่เท่ากับมุมก่อนหน้านี้ที่คำนวณได้ ดังนั้นจึงต้องคำนวณต่อในรอบที่ 3 ผลปรากฏว่ามุมที่คำนวณได้มีค่า $\theta_3^3 = 0.0250$ องศา ซึ่งไม่เป็นศูนย์และไม่เท่ากับค่ามุมก่อนหน้านี้จึงคำนวณรอบที่ 4 ซึ่งได้ $\theta_4^4 = 0.0250$ ซึ่งมีค่าเท่ากับมุมก่อนหน้านี้การคำนวณจึงหยุดและผลลัพธ์แสดงได้ดังรูปที่ 7b และ 7c ตามลำดับ



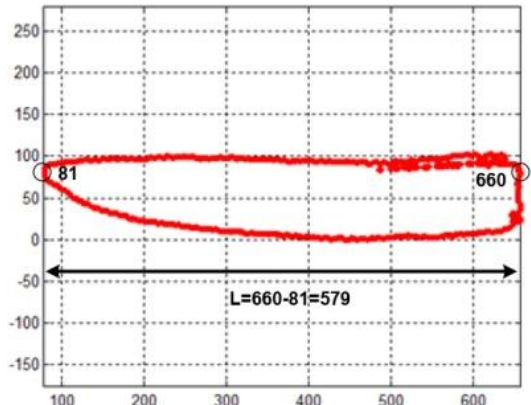
(a) รอบที่ 2 มุม $\theta_2^2 = -0.1957$ และ $\theta_d^1 = 5.0300$



(b) รอบที่ 3 มุม $\theta_3^3 = 0.0250$ และ $\theta_d^2 = 0.1707$



(c) รอบที่ 4 มุม $\theta_4^4 = 0.0250$ และ $\theta_d^3 = 0.0000$



(d) จำนวนผลต่างพิกเซลในแนวนอน

รูปที่ 7 การคำนวณจะทำซ้ำทั้งหมด 4 รอบ (a-c) และการคำนวณความยาวจริงของข้าวโพดฝักอ่อนจากจำนวนพิกเซลในแนวแกนนอน (d)

ขั้นตอนถัดมาเป็นการคำนวณความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนโดยนำภาพสุดท้ายที่ได้มาหาความยาวในแนวแกนนอน โดยการคำนวณระยะห่างระหว่าง

ตำแหน่งพิกเซลในแนวแกนนอน ซึ่งจากภาพคำนวณได้ 579 พิกเซล ดังรูปที่ 7d และเมื่อนำมาคูณกับอัตราส่วนสอบเทียบในแนวแกนนอน 0.1921875

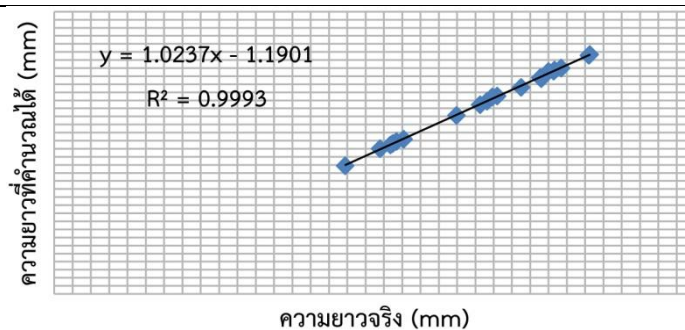
mm/pixel ส่งผลให้ความยาวข้าวโพดฝักอ่อนมีค่า 111.2766 มิลลิเมตร เป็นต้น

การทดลองถัดมาเป็นการแสดงผลการทดสอบโดยใช้ข้าวโพดฝักอ่อนจำนวน 20 ฝัก แบ่งออกเป็น 10 การทดลอง ซึ่งแต่ละการทดลองจะใช้ข้าวโพดฝักอ่อนจำนวน 2 ฝัก แบบสุ่มขนาดและตำแหน่งการวางเป็นคู่ ๆ แสดงดังตารางที่ 2 และก่อนการทดลองทุกครั้งจะนำข้าวโพดฝักอ่อนมาวัดความยาวโดยโปรแกรม Photoshop และบันทึกค่าเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับ

ค่าความยาวข้าวโพดฝักอ่อนที่วัดได้จากการทดลอง ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีค่า 1.051 มิลลิเมตรและมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.071 หรือมีความแม่นยำ 98.929 % ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวจริงกับค่าความยาวที่วัดได้ซึ่งให้ค่า $R^2 = 0.9993$ แสดงว่าผลที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนน้อยเมื่อเทียบกับค่าจริง

ตารางที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างความยาวข้าวโพดฝักอ่อนจริงและความยาวที่ได้จากวิธีที่นำเสนอจำนวน 10 ครั้ง

ครั้งที่	ความยาวจริง (mm)	การประมวลผลจากวิธีที่นำเสนอ		
		ความยาว (mm)	ค่าคลาดเคลื่อน (mm)	% ค่าคลาดเคลื่อน
1	109.150000	110.463889	1.313889	1.203746
	76.400000	76.736111	0.336111	0.439936
2	117.000000	118.776389	1.776389	1.518281
	74.800000	75.704167	0.904167	1.208779
3	96.800000	98.087600	1.287600	1.330165
	116.800000	118.406944	1.606944	1.375808
4	108.000000	110.279167	2.279167	2.110340
	71.200000	72.118056	0.918056	1.289404
5	87.900000	88.481944	0.581944	0.662052
	94.600000	95.577778	0.977778	1.033592
6	109.300000	111.018056	1.718056	1.571872
	63.600000	63.620830	0.020830	0.032752
7	106.400000	106.769444	0.369444	0.347222
	74.000000	74.704167	0.704167	0.951577
8	93.100000	93.915278	0.815278	0.875701
	95.700000	97.718056	2.018056	2.108731
9	73.500000	73.965278	0.465278	0.633031
	106.250000	107.323611	1.073611	1.010457
10	102.000000	102.520833	0.520833	0.510621
	110.800000	112.126389	1.326389	1.197102
ค่าเฉลี่ย			1.050699	1.070558



รูปที่ 8 ค่า R^2 ระหว่างความยาวข้าวโพดฝักอ่อนจริงกับความยาวข้าวโพดฝักอ่อนที่ได้จากการทดลอง

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องสูง เนื่องจากข้าวโพดฝักอ่อนที่ใช้ในการทดลองถูกนำเส้นไหมออกจนหมดแต่ในความเป็นจริงแล้วในกระบวนการผลิตไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องคุณภาพแรงงาน ดังนั้นข้าวโพดฝักอ่อนจำนวนมากอาจจะมีเส้นไหมติดมาด้วยและอาจจะเป็นสาเหตุให้ผลการวัดผิดพลาดได้

4. สรุป

จากการทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถวัดความยาวของข้าวโพดฝักอ่อนครั้งละมากกว่า 1 ฝักได้อย่างแม่นยำเฉลี่ยถึง 98.93 % ไม่ว่าจะวางในทิศทางใดก็ตาม และความแม่นยำมากกว่าการใช้คนในการคัดแยก และเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาเป็นเครื่องคัดขนาดเพื่อช่วยลดปัญหาการจ้างแรงงาน ซึ่งปัจจุบันมีต้นทุนค่อนข้างสูงนอกจากนั้นยังเป็นการยกมาตรฐานการผลิตให้สูงขึ้นซึ่งส่งผลต่อศักยภาพในการแข่งขันสินค้าทางการเกษตรของประเทศ

ในอนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนโดยใช้หลักการดังที่กล่าวมาแล้ว เพื่อให้เกิดการต่อยอดงานวิจัยสู่การนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง โดยอาจจะมีการปรับเปลี่ยนวิธีการให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เพื่อให้เครื่องคัดขนาดที่ออกแบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. รายการอ้างอิง

- [1] สำนักบริการข้อมูลและสารสนเทศ, ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือนข้าวโพดฝักอ่อนบรรจุภาชนะอัดลม, แหล่งที่มา : <http://www.idis.ru.ac.th/report>, 2552.
- [2] ลาวัลย์ ดีด้วยชาติ, 2531, ข้าวโพดฝักอ่อน, เอ็ดดิสัน เพรส โปรดักส์, กรุงเทพฯ.
- [3] ภารต กฤษกร ณ อยุธยา, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, อเนก สุขเจริญ และประสาร กระดังงา, 2533, โครงการพัฒนาเครื่องปอกเปลือกและคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อน, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [4] นิธิ บุณณจันทร์, 2545, เครื่องคัดขนาดข้าวโพดฝักอ่อนด้วยขบวนการถ่ายภาพ, ภาควิชา

- วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- [5] อมรฤทธิ์ พุทธิพัฒน์ขจร, 2556, การวัดความยาวข้าวโพดฝักอ่อนโดยไม่จำกัดทิศทางการจัดวางด้วยวิธีถดถอยซ้ำที่แข็งแกร่ง, ว.วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 20(1): 60-67.
- [6] สันติ สุขเจริญ, วิชา หมั่นทำการ, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ และอมรฤทธิ์ พุทธิพัฒน์ขจร, 2553, ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของการวัดขนาดกุ้งชูดด้วยการประมวลผลภาพ, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.
- [7] Pothan, A. and Chin-Ju, F., 1990, Computing the block triangular form of a sparse matrix, ACM Trans. Math. Software 16: 303-324.
- [8] Rousseeuw, R.J., 1984, Least median of squares regression, J. Am. Stat. Assoc. 79: 871-880.
- [9] Steele, J.M. and Steiger, W.L., 1986, Algorithms and complexity for least median of square regression, Discrete Appl. Math. 14: 93-100.