

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินขนาดของผลลำไยสดในช่อด้วยเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ

Determining the Sizes of Fresh Longans in a Bunch by Image Processing Technique

โดย

นายชวโรจน์ ใจสิน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชวโรจน์ ใจสิน 2557: การประเมินขนาดของผลลำไยสดในข้อด้วยเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D. 132 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการคัดแยกลำไยแบบข้อโดยใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพโดยมุ่งเน้นการพัฒนาระบบวิสัยทัศน์-จักรกลเพื่อตรวจสอบขนาดและตำแหน่งของลำไยแต่ละผลในข้อลำไย อุปกรณ์ในการทดลองประกอบด้วยกล้องแบบ Charge coupled device (CCD) ทำหน้าที่บันทึกภาพข้อลำไยที่ใช้ในการทดลอง ภาพที่ได้จะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลแบบดิจิทัลด้วยการดแปลงข้อมูล (Frame grabber) ซึ่งถูกติดตั้งไว้ภายในไมโครคอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์ขนาดและตำแหน่งของลำไยในข้อเริ่มต้นโดยใช้โมเดลสีแบบ HSB โมเดลเป็นกระบวนการเพื่อแยกส่วนประกอบในภาพ อาทิเช่น กิ่ง ก้าน และ ใบ ออกไปเพื่อให้เหลือแต่ผลลำไยที่เป็นส่วนที่สนใจในการทดลองขั้นถัดไป ส่วนประกอบของภาพที่เหลืออยู่จากกระบวนการก่อนหน้าจะถูกแปลงภาพให้เป็นโหมดสีเทา (Gray scale) จากนั้นใช้วิธีการของ Canny edge detection เพื่อตรวจสอบและค้นหาส่วนประกอบของภาพที่มีลักษณะเป็นวงกลมซึ่งจะใกล้เคียงกับรูปร่างของผลลำไย ขั้นตอนถัดไปคือการใช้ Circular Hough transform เพื่อค้นหาลักษณะวงกลมในภาพเพื่อใช้เป็นตัวแทนของผลลำไยในการประเมินขนาดและการระบุตำแหน่งของลำไยแต่ละผลในข้อ

ผลการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกแสดงเป็นความผิดพลาดจากการประเมินขนาดของลำไยเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของลำไยจริง โดยใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากขนาดของผลจริงน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์หรือมีความใกล้เคียงกับขนาดผลจริงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่สองการตรวจสอบผลลำไยด้วยโปรแกรมในกรณีที่ไม่มีการซ้อนทับของผลลำไยพบว่าสามารถตรวจเจอได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีที่มีการซ้อนทับของลำไยระบบสามารถตรวจสอบได้ประมาณ 79 เปอร์เซ็นต์

Chawaroj Jaisin 2014: Determining the Sizes of Fresh Longans in a Bunch by Image Processing Technique. Doctoral of Engineering (Agricultural Engineering), Major Field: Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering. Thesis Advisor: Mr.Siwalak Pathaveerat. Ph.D. 132 pages.

An experimental sorting system was developed for bunches of longan fruits by using an image processing technique. Specifically, a machine-vision system was developed for determining the size and location of individual longans in the bunch. The experimental system involved the use of a camera with a charge coupled device to record images of longan fruits in bunches, which were subsequently converted into digital data using a TV card installed within a microcomputer. The analysis was performed with an image processing software which determined the size and location of each individual longan. The HSB (hue, saturation and brightness) colour model was adapted to the images of longan fruits in bunches, including branches and leaves, to separate the objects of interest from the background. The images of longans were further processed to eliminate noise and convert the images to gray scale while a Canny edge detector was operated as an image processing tool to detect edges in the images of longan fruits. Since the shape of longans is roughly circular, a circular Hough transform was also applied to the images in searching for longans.

The results show that the overall margin of error of the size determination using the developed image processing technique, as compared to actual sizes of longan fruits, was less than 10%. In addition, the aforementioned image technique could locate 90% of individual longans which were not overlapped and detect 79% of the overlapped longan fruit in the images.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการประเมินขนาดและหาตำแหน่งผลลำไยสดบนช่อด้วยเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพประสบความสำเร็จลงได้ต้องขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา ทุนสนับสนุนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ขอขอบคุณ โครงการเครือข่ายเชิงกลยุทธ์เพื่อการผลิตและพัฒนาอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ที่กรุณาสนับสนุนทุนการศึกษาและงบประมาณวิจัย ตลอดจนรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนร่วมกลุ่มทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดีในทุกๆด้านตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้การสนับสนุนและมอบกำลังใจแก่ผู้จัดทำประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ พึงมีเพียงใด ผู้จัดทำขอขอบให้แด่ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การเลี้ยงดู สนับสนุน ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน คณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ จนสำเร็จการศึกษา รวมถึงศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จริโมภาส ที่ได้ล่องลับไปแล้ว ซึ่งเป็นผู้จุดประกายทางความคิดให้เกิดเป็นวิทยานิพนธ์เล่มนี้ หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ชวโรจน์ ใจสิน
กุมภาพันธ์ 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	36
ผลและวิจารณ์การทดลอง	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก. สมการการปรับเทียบของขนาดวงกลมขนาดต่างๆที่ใช้อ้างอิงต่อ ระยะห่างของกล้องระยะต่างๆ	75
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเง็ปนของ ระบบการคัดผลลำไยพันธุ์เปี้ยวเขียว	78
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเง็ปนของ ระบบการคัดผลลำไยพันธุ์แก้ว	90
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเง็ปนของ ระบบการคัดผลลำไยพันธุ์ดอ	105
ภาคผนวก จ. ไดอะแกรม โปรแกรมและลำดับขั้นกระบวนการประเมินขนาด ผลลำไยในข้อ	119
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางอาหารของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยแห้ง	3
2	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกลำไยสดและผลิตภัณฑ์ของลำไยปี 2553 ถึง 2555	4
3	พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตลำไยในประเทศไทยระหว่างปี 2554 ถึง 2555	7
4	ขนาดลำไยแบ่งตามลักษณะแบบช่อและแบบผลเดี่ยว	11
5	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำไยตามความต้องการของตลาด ปี 2551 ถึง 2552	44
6	ผลบันทึกการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อพันธุ์เบ็ญเขียวช่อที่ 22	56
7	ผลบันทึกการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อพันธุ์แห้วช่อที่ 13	56
8	ผลบันทึกการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อพันธุ์ดอช่อที่ 11	57
9	การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อโดยไม่มีการจำแนกพันธุ์	57
10	การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อของพันธุ์ดอ	58
11	การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อของพันธุ์แห้ว	58
12	การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อของพันธุ์เบ็ญเขียว	59
13	แสดงรวมผลการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อทุกพันธุ์	59
14	ขนาดวัตถุอ้างอิงในหน่วยวัดแบบพิกเซล	60
15	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะทางกับค่าพิเซลที่อ่านได้	61
16	ค่าจริงที่คำนวณได้และค่าความถูกต้องของการคำนวณ	62
17	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดที่คำนวณได้เทียบกับระยะทาง	62
18	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจเจอโดยไม่มีการจำแนกพันธุ์	63
19	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจเจอของพันธุ์ดอ	64
20	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจเจอของพันธุ์แห้ว	64
21	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจเจอของพันธุ์เบ็ญเขียว	65
22	แสดงรวมเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของขนาดผลลำไยทุกพันธุ์	65
23	แสดงประสิทธิภาพและสิ่งเจือปนในการคัดแยกขนาดผลลำไยช่อจำแนกตามพันธุ์	67
24	แสดงประสิทธิภาพการคัดแยกช่อลำไยทุกพันธุ์	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเจือปนของระบบการคัดผล ลำไยพันธุ์เบ็ญเขียว	79
ข2	ประสิทธิภาพการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์เบ็ญเขียว	89
ข3	สมรรถนะของระบบการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์เบ็ญเขียว	89
ค1	ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเจือปนของระบบการคัดผล ลำไยพันธุ์แก้ว	91
ค2	ประสิทธิภาพการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์แก้ว	103
ค3	สมรรถนะของระบบการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์แก้ว	104
ง1	ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเจือปนของระบบการคัดผล ลำไยพันธุ์ดอ	106
ง2	ประสิทธิภาพการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์ดอ	117
ง3	สมรรถนะของระบบการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์ดอ	117

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ต้นลำไยที่กำลังออกผล	5
2	รูปดอกลำไย	6
3	ระบบสีแบบ RGB	12
4	ค่า Hue และ Saturation ในระบบสีแบบ HSV หรือ HSB	12
5	ค่า Value หรือ Brightness ระบบสีแบบ HSV หรือ HSB	13
6	ไดอะแกรมการรับ-ส่งภาพ	14
7	โครงสร้างของเซ็นเซอร์รับภาพ	15
8	ตัวอย่างการทำ Convolution ร่วมกับ Mask ที่กำหนด	17
9	ลักษณะของฟิลเตอร์แบบ Gaussian	17
10	ค่าฟิลเตอร์แบบ Gaussian ขนาด 5x5 เมื่อ $\sigma = 1$	18
11	ค่า Y ของจุด Pixel ในอเรียภาพ	18
12	การหาขอบของภาพถ่ายด้วยวิธี Gradient	19
13	การหาขอบของภาพถ่ายด้วยวิธี Laplacian	20
14	ตัวอย่างการใช้วิธี non-maximum suppression	21
15	รูปแบบ Dilation 8-Connection ขนาด 3x3	24
16	ผลลัพธ์ของวัตถุจากการทำ Dilation	24
17	ผลลัพธ์ของรูในวัตถุจากการทำ Dilation	24
18	การวาดวงกลมเสมือนลงบนขอบของวงกลมจริงเพื่อหาศูนย์กลางของวงกลม	25
19	จุดซ้อนทับที่มากที่สุดของรัศมีวงกลมเสมือนที่วาดลงบนวงกลมจริง	26
20	locus ที่เกิดจากการวาดวงกลมเสมือนที่วาดลงบนวงกลมจริง	26
21	ลำดับขั้นตอนในการกรองจุดศูนย์กลาง	27
22	ค่า Locus ในอเรียขนาด 15x15 พิกเซล	27
23	ค่า Locus ในอเรียขนาด 15x15 พิกเซลหลังจากผ่านการกรองขั้นที่ 2 ค่า	27
24	Locus ในอเรียขนาด 15x15 พิกเซลหลังจากผ่านการกรองขั้นที่ 3	28
25	ค่า Locus ในอเรียขนาด 15x15 พิกเซลหลังจากผ่านการกรองขั้นที่ 4	29
26	(ก) ภาพแอบเปิ้ลต้นฉบับ (ข) และภาพหลังจากการหาค่า redness	30
27	(ก) ภาพแอบเปิ้ลต้นฉบับ (ข) และภาพหลังใช้ตัวกรองแบบ laplacian	30

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	(ก) ภาพค่า redness กรณีไม่ใช้ตัวกรอง (ข) และภาพค่า redness กรณีใช้ตัวกรอง	31
29	(ก) ภาพแอบเปิ้ลในตะกร้า (ข) และภาพ gradient magnitude ของแอบเปิ้ล	31
30	(ก) กริดบริเวณที่ค่า gradient magnitude สูงสุดในแต่ละบริเวณ (ข) และการประเมินขนาดของแอบเปิ้ล	32
31	ระบบการคัดความสุกของผลปาล์ม	32
32	ระบบการตรวจสอบคุณภาพของแอบเปิ้ล ด้วยวิธีการประมวลด้วยภาพ	33
33	ระบบเครื่องคัดแยกผลไม้ ด้วยวิธีการประมวลด้วยภาพ	33
34	ผลการค้นหามะพร้าวบนต้นด้วยเทคนิค CHT	34
35	ระบบการถ่ายภาพผลไม้จากต้น	34
36	ภาพจากการประมวลผลแบ่งเป็น A คือ ภายถ่ายปกติ B คือภาพขอบขอบผลไม้ C คือภาพสะท้อนของผลไม้ D คือผลไม้ที่ตรวจพบการหาขอบของภาพถ่ายด้วยวิธี Laplacian	35
37	ระบบควบคุมแสงสว่างและอุปกรณ์การถ่ายภาพ (1) หลอดไฟและโคมส่องสว่าง (2) ผ้าขาวบาง (3) กล้อง CCD (4) แทนยัดกล้องปรับระยะได้ (5) กล่องควบคุมแสง (6) ฉากหลังสีดำ (7) ที่แขวนขอลำไย	37
38	ขอลำไย	38
39	ระบบทางด้านฮาร์ดแวร์	38
40	ระบบทางด้านซอฟต์แวร์	39
41	การใช้ Iterative Threshold	39
42	(ก) พื้นหลังถูกมาสก์ด้วยสีแดง (ข) ขอลำไยหลังกรองสิ่งรบกวนออก	40
43	(ก) ภาพที่ถูกเซาะ (ข) ภาพที่ถูกขยาย	40
44	ภาพขอบของขอลำไยด้วยวิธี Canny Edge Detection	41
45	Surface plots ของ (ก) ตัวแทนทั้งหมดที่ถูกคัดเลือกเป็นตำแหน่งศูนย์กลางของลำไยแต่ละลูก (ข) ตัวแทนจริงของตำแหน่งศูนย์กลางลำไยแต่ละลูก	41
46	ผลการหาจุดศูนย์กลางและขนาดของผลลำไยบนข้อ	42
47	(ก) การเก็บลำไย (ข) และการคัดแยกเบื้องต้นโดยเกษตรกร	42

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
48	(ก) ซ่อลำไยที่คัดแยกมาก่อน (ข) และซ่อลำไยที่ถูกตัดแต่งเรียบร้อยแล้ว	43
49	(ก) ซ่อลำไยก่อนการคัดแยก และ (ข) ซ่อลำไยที่ตกแต่งและคัดขนาดแล้วถูกมัดรวมกันเป็นซ่อเรียงตามขนาด	44
50	การทดสอบเปรียบเทียบระยะกล้องไปยังวัตถุเป้าหมาย	46
51	ลำไยซ่อที่ใช้ทดลอง (ก) พันธุ์ดอ (ข) พันธุ์แห้ว (ค) พันธุ์เป็ยวเขียว	49
52	ลำไยซ่อพันธุ์ดอ (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพผ่านกระบวนการ Color threshold	50
53	ลำไยซ่อพันธุ์แห้ว (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพผ่านกระบวนการ Color threshold	50
54	ลำไยซ่อพันธุ์เป็ยวเขียว (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพผ่านกระบวนการ Color threshold	50
55	ลำไยซ่อพันธุ์ดอ (ก) ภาพหลังการ Dilation (ข) ภาพขอบ	51
56	ลำไยซ่อพันธุ์แห้ว (ก) ภาพหลังการ Dilation (ข) ภาพขอบ	51
57	ลำไยซ่อพันธุ์เป็ยวเขียว (ก) ภาพหลังการ Dilation (ข) ภาพขอบ	52
58	อาเรย์ 3 มิติ สำหรับเก็บตำแหน่งและขนาดของผลลำไย	52
59	ข้อมูลตัวแทนจุดศูนย์กลางผลลำไยพันธุ์ดอ (ก) ภาพขอบ (ข) ตัวแทนทั้งหมด (ค) ตัวแทนจริง (ง) ขนาดและตำแหน่งของลำไย	53
60	ข้อมูลตัวแทนจุดศูนย์กลางผลลำไยพันธุ์แห้ว (ก) ภาพขอบ (ข) ตัวแทนทั้งหมด (ค) ตัวแทนจริง (ง) ขนาดและตำแหน่งของลำไย	54
61	ข้อมูลตัวแทนจุดศูนย์กลางผลลำไยพันธุ์เป็ยวเขียว (ก) ภาพขอบ (ข) ตัวแทนทั้งหมด (ค) ตัวแทนจริง (ง) ขนาดและตำแหน่งของลำไย	54
62	ตัวอย่างการตรวจสอบหาผลลำไยในซ่อ (ก) พันธุ์เป็ยวเขียว (ข) พันธุ์แห้ว (ค) พันธุ์ดอ	55
63	ตัวอย่างการแสดงผลสถานะขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพในชื่อขนาดเกรด AA	66
64	ตัวอย่างการแสดงผลสถานะขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพในชื่อขนาดเกรด A	67
ภาพผนวกที่		
จ1	ไดอะแกรมกระบวนการ color threshold	122
จ2	ไดอะแกรมกระบวนการ gray scale	123
จ3	ไดอะแกรมกระบวนการเวาะและขยาย (erosion and dilation)	124
จ4	ไดอะแกรมกระบวนการหาขอบภาพ (canny edge detection)	126
จ5	ไดอะแกรมกระบวนการค้นหาลำไยและประเมินขนาดผลลำไยด้วยวิธี CHT	127

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CCD	=	Charge Coupled Device
CHT	=	Circular Hough Transform
CMOS	=	Complementary Metal Oxide Semiconductor
Crt	=	Cathode ray tube
HSB	=	Hue Saturation Brightness
HSV	=	Hue Saturation Value
RGB	=	Red Green Blue
VGA	=	Video Graphic Array



การประเมินขนาดของผลลำไยสดในช่อด้วยเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ

Determining the Sizes of Fresh Longans in a Bunch by Image Processing Technique

คำนำ

ลำไยถือว่าเป็นผลไม้ที่มีชื่อเสียงติดอันดับโลกชนิดหนึ่งซึ่งมีรสหวานอร่อย คุณค่าทางโภชนาการสูงและยังทำรายได้เข้าประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2555 มีปริมาณลำไยที่ส่งออก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ทั้งในรูปผลสด อบแห้ง แช่แข็งและบรรจุในกระป๋องปิดมิดชิดกว่า 600,000 ตัน รวมมูลค่าการส่งออก มากกว่า 19,000 ล้านบาท และกว่า 450,000 ตันเป็นการส่งออกลำไยสด มูลค่ารวมกว่า 8,400 ล้านบาท โดยลำไยสดแบบช่อจะให้ราคาที่ดีกว่าแบบผลร่วง ทั้งนี้มูลค่าทางการตลาดยังขึ้นอยู่กับขนาดของผลลำไยอีกด้วย

ปัจจุบันกระบวนการคัดแยกลำไยแบบช่อยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งต้องเป็นแรงงานที่มีประสบการณ์ค่อนข้างมาก การคัดแยกมักจะคัดแยกด้วยมือเป็นหลัก เพื่อคัด ขนาด และตำหนิต่างๆของผลไม้ แต่ปัญหาที่พบจากการใช้แรงงานคนยังคงมีหลายๆด้าน เช่น ค่าจ้าง ความอ่อนล้าในการทำงานและการขาดแคลนแรงงานที่มีฝีมือ โดยเฉพาะช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว ยิ่งทำให้ประสบปัญหาทั้งการขาดแคลนแรงงานและมีค่าจ้างเพิ่มมากขึ้น

กระบวนการคัดแยกวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมสำหรับการคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรคือ Electro-optical technique (Chen, 1996) สามารถคัดแยกได้ทั้งเชิงคุณภาพ (บัณฑิต และคณะ, 2547) และคัดแยกเชิงปริมาณได้ ตัวแปรที่นิยมใช้ในการคัดแยก เช่น ขนาด พันธุ์ ความสุก-แก่ สี รูปร่างและตำหนิ ซึ่งในกระบวนการหนึ่งๆจะมีการตรวจสอบได้ครั้งละหลายๆ ตัวแปรมีระบบการคัดและจัดการได้อย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการคัดสามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานของผลผลิต (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2556) ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการพัฒนาระบบการคัดแยกแบบอัตโนมัติแบบ Electro-optical technique เพื่อคัดแยกผลไม้นช่อในสถานะ แวดล้อมต่างๆ กันซึ่งเป็นเรื่องที่ทำนายในงานทางวิศวกรรมเกษตร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบและประเมินขนาดของผลลำไยสดที่ติดอยู่กับช่อ ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing)
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการคัดแยกเกรดลำไยแบบช่อด้วย วิธีการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing)



การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของลำไย

ลำไยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour., *Euphoria longana* Lamk. หรือ *Nephelium longana* Camb. ถือว่าเป็นผลไม้ที่มีชื่อเสียงติดอันดับโลกชนิดหนึ่งซึ่งมีรสหวานอร่อยและยังทำรายได้เข้าประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ลำไยสดประกอบไปด้วยน้ำ 81.1% คาร์โบไฮเดรต 16.98% และโปรตีน 0.97% (สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6, 2556) นอกจากนี้ลำไยยังมีสารอาหารมากมายไม่ว่าจะเป็นน้ำตาลกลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส และวิตามินชนิดต่างๆ เช่น วิตามินซี วิตามินบี 1 และบี 2 สูง ดังแสดงในตารางที่ 1 (Paull et al., 1987) ผลสดของลำไยจะมีเปลือกและเนื้อหุ้มเมล็ด โดยมากนิยมบริโภคเป็นผลสด ใช้บริโภคภายในประเทศเป็นร้อยละ 30 ของผลผลิตรวมทั้งบริโภคแบบผลสดหรือ ส่งเข้าโรงงานแปรรูปอาหารกระป๋องที่เหลืออีกร้อยละ 70 เป็นการส่งออกทั้งในรูปแบบของผลลำไยสดและผลิตภัณฑ์แปรรูป (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2555) ในปี 2555 มีปริมาณลำไยที่ส่งออก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) ทั้งในรูปแบบผลสดและแปรรูปกว่า 600,000 ตัน รวมมูลค่าการส่งออก มากกว่า 19,000 ล้านบาท แสดงจำนวนและมูลค่าการส่งออกลำไยแยกตามประเภทในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยแห้ง

ข้อมูลทางโภชนศาสตร์	เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยแห้ง
ความชื้น (%)	81.10	7.80
ไขมัน (%)	0.11	0.40
เส้นใย (%)	0.28	1.60
โปรตีน (%)	0.97	4.60
เถ้า (%)	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต (%)	16.98	72.70
พลังงานความร้อน (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	305.70	1,310.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	5.70	27.70
เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม)	35.30	59.50
วิตามินซี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	69.20	137.80
โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	4.50
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	2,012.00
ไนอาซีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	3.03
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม/100 กรัม)	-	-

ที่มา: สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 (2556)

ข้อมูลตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการส่งออกลำไยเพิ่มขึ้นในทุกๆปี โดยลำไยสดมีปริมาณการส่งออกมากกว่าลำไยที่มีการแปรรูปแล้ว เช่น ลำไยอบแห้ง ลำไยแช่แข็งและลำไยกระป๋อง โดยเฉพาะในปี 2555 ลำไยสดมีปริมาณการส่งออกมากถึง 3 ใน 4 ของปริมาณลำไยที่ส่งออกทั้งหมด หรือกว่า 455,000 ตัน และมูลค่าการส่งออกของลำไยสดก็มากกว่า 8,400 ล้านบาท

ตารางที่ 2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกลำไยสดและผลิตภัณฑ์ของลำไยปี 2553 ถึง 2555

ประเภทลำไย	ปริมาณการส่งออก (ตัน)			มูลค่าการส่งออก (ล้านบาท)		
	ปี 2553	ปี 2554	ปี 2555	ปี 2553	ปี 2554	ปี 2555
ลำไยสด	216,394.86	382,013.06	455,663.38	3,512.87	6,209.32	8,454.01
ลำไยอบแห้ง	72,705.27	162,440.60	129,254.72	2,109.32	8,231.76	10,836.47
ลำไยแช่เย็น	211.35	28.15	28.53	16.37	3.28	3.77
ลำไยกระป๋อง	14,116.15	12,146.04	11,472.04	510.39	579.49	602.36
รวม	303,477.63	556,627.85	596,418.68	6,148.95	15,023.85	19,896.61

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556)

ลักษณะทั่วไปของพืช

ลำไยมีชื่อเรียกพื้นบ้านว่า “ป่าลำไย” ชื่อภาษาอังกฤษว่า “ลองแกน” (Longan) ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour., *Euphoria longana* Lamk. หรือ *Nephelium longana* Camb. อยู่ในวงศ์ Sapotaceae ลำไยเป็นไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและกึ่งร้อนของเอเชีย ซึ่งอาจมีถิ่นกำเนิดในลังกาอินเดียนพม่าหรือ จีน ลำไยเป็นไม้ผลกิ่งเมืองร้อน ลำต้นเจริญเต็มที่สูงประมาณ 10 - 12 เมตร ทรงพุ่มแผ่กว้างประมาณ 6 - 8 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีหน้าดินลึก มีอินทรีย์วัตถุมากมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 5 - 6 และมีการระบายน้ำดี อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 20 - 25 องศาเซลเซียส และในช่วงก่อนออกดอกต้องการอุณหภูมิระหว่าง 10 - 12 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 1,200 - 1,400 มิลลิเมตร/ปี ความชื้นสัมพัทธ์ในระยะก่อนออกดอกควรต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์และความชื้นสัมพัทธ์ในระยะติดผลอยู่ระหว่าง 80 - 100 เปอร์เซ็นต์ ลำไยอายุตั้งแต่ 3 ปี จะเริ่มให้ผลผลิตและจะให้ผลเต็มที่เมื่ออายุ 7 ปีขึ้นไป (ภาพที่ 1) ลำไยสามารถให้ผลผลิตได้มากกว่า 30 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การดูแลรักษา การตัดแต่งกิ่ง ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกถึงเก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 6 เดือน ผลผลิตเฉลี่ยของลำไยที่โตเต็มที่ประมาณ 200 กิโลกรัม/ตัน ปริมาณของผลผลิตอยู่ระหว่าง 60 - 90 ผล/กิโลกรัม และฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่ระหว่างเดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม



ภาพที่ 1 ต้นลำไยที่กำลังออกผล

ที่มา: ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2551)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลำไย

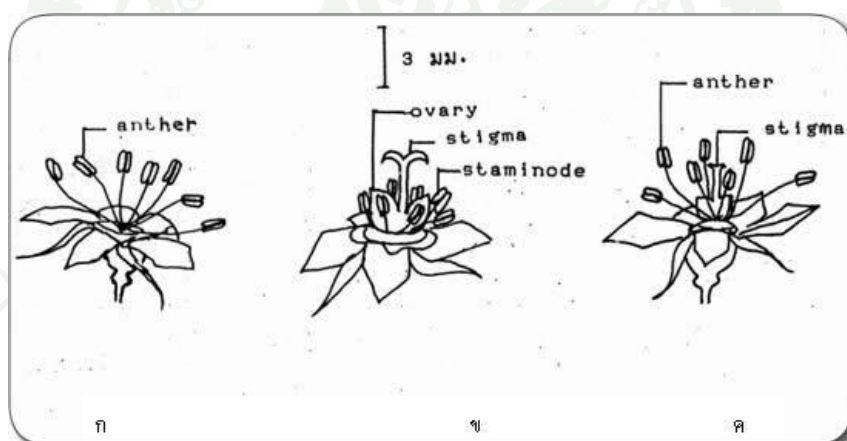
ลำไยเป็นพืชที่มีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดมีต้นตรง ความสูงประมาณ 10-15 เมตร แต่ต้นที่ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่งมักจะแตกกิ่งก้านสาขาใกล้ ๆ กับพื้น ทรงพุ่มต้นสวยงาม มีการแตกกิ่งก้านสาขาดี เนื้อไม้เปราะทำให้กิ่งหักง่ายกว่าต้นลินจี่ เปลือกลำต้นขรุขระ มีสีน้ำตาลหรือสีเทา ใบลำไยเป็นใบรวมที่ประกอบด้วยใบย่อยอยู่บนก้านกับใบรวม (Pinnately compound leaves) มีปลายใบเป็นคู่ มีใบย่อย 2-5 คู่ใบรวมมีความยาว 20-30 เซนติเมตร ใบย่อยเรียงตัวสลับหรือเกือบตรงข้ามความกว้างของใบย่อย 3-6 เซนติเมตร ยาว 7-15 เซนติเมตร รูปร่างใบเป็นรูปรีหรือรูปหอก ส่วนปลายใบและฐานใบค่อนข้างป้าน ใบด้านบนมีสีเขียวเข้ม กว้างด้านล่าง ผิวด้านบนเรียบ ส่วนผิวด้านล่างสากเล็กน้อย ขอบใบเรียบไม่มีหยัก ใบเป็นคลื่นเล็กน้อยและเห็นเส้นใบแขนง (vein) แตกออกจากเส้นกลางใบชัดเจนและมีจำนวนมาก

ช่อดอกเกิดเป็นช่อ ส่วนมากจะเกิดจากตาที่ปลายยอด บางครั้งอาจเกิดจากตาข้าง ของกิ่ง ความยาวของช่อดอกประมาณ 15-60 เซนติเมตร ช่อดอกขนาดกลางจะมีดอกย่อยประมาณ 3,000 ดอก ดอกลำไยมีสีขาวหรือสีขาวยาวออกเหลืองมีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6-8 มิลลิเมตร ช่อดอกหนึ่ง ๆ อาจมีดอก 3 ชนิด (polygamo-monoecious) คือดอกตัวผู้ (staminate flower) ดอกตัวเมีย (pistillate flower) และดอกสมบูรณ์เพศ (perfect flower) ลักษณะที่คล้ายคลึงกันของดอกทั้ง 3 ชนิดคือ มีกลีบเลี้ยงสีเขียวปนน้ำตาลหนาแข็ง 5 กลีบ มีกลีบดอกสีขาว 5 กลีบ

ดอกตัวผู้มีเกสรตัวผู้ 6-8 อัน เรียงเป็นชั้นเดียวอยู่บนจานรองดอก (disc) ซึ่งมีสีน้ำตาลอ่อน และมีลักษณะอ้วนน้ำ ก้านชูเกสรตัวผู้มีขนเกสรตัวผู้มีความยาวสม่ำเสมอคือยาวประมาณ 3.5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2ก) อับเรณูมี 2 หยักและเมื่อแตกจะแตกตามยาว (longitudinal dehiscence)

ดอกตัวเมียมีเกสรตัวเมียซึ่งประกอบด้วยรังไข่ที่มี 2 พู (bicarpellate) ตั้งอยู่ตรงกลางจานรองดอกเป็นแบบรังไข่อยู่เหนือส่วนต่างๆของดอก (superior ovary) ด้านนอกของรังไข่มีขนปกคลุมอยู่ แต่ละพูจะมีเพียง 1 ช่อง (locule) เท่านั้นที่จะเจริญเติบโตและพัฒนาจนเป็นผล ส่วนอีกพูหนึ่งจะค่อยๆฝ่อไป ในบางกรณีอาจพบไขในพูทั้งสองเจริญเป็นผลได้ เกสรตัวเมียอยู่ตรงกลางระหว่างพู ก้านชูเกสรตัวเมีย (style) ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร ตรงปลายยอดเกสร (stigma) แยกออกเป็น 2 แฉกเห็นได้ชัดเมื่อดอกบานเต็มที่ เกสรตัวผู้มีประมาณ 8 อัน ก้านเกสรตัวผู้ (semi-sesile filament) มีความยาว 1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2ข) อับเรณูของเกสรตัวผู้จะไม่แตกและไม่มีการงอกแต่จะค่อยๆแห้งตายไปหลังดอกบาน

ดอกสมบูรณ์เพศ มีทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน รังไข่ของเป็นกระเปาะค่อนข้างกลม ขนาดเล็กกว่ารังไข่ของดอกตัวเมีย ยอดเกสรตัวเมียจะสั้นกว่าและ ตรงปลายจะแยกเพียงเล็กน้อยเมื่อดอกบาน ก้านชูอับเรณูของเกสรของดอกสมบูรณ์เพศ จะมีความยาวไม่สม่ำเสมอ มีความยาวอยู่ระหว่าง 1.5-3.0 มิลลิเมตร ดอกสมบูรณ์เพศสามารถติดผลได้เช่นเดียวกับดอกตัวเมีย (ภาพที่ 2ค) โดยปกติแล้วจะพบดอกสมบูรณ์เพศน้อยอาจพบเพียง 1-2 ดอกต่อช่อ



ภาพที่ 2 รูปดอกลำไย ก. ดอกตัวผู้ ข. ดอกตัวเมีย ค.ดอกสมบูรณ์เพศ

ที่มา: เรืองยศ (2531)

แหล่งผลิตลำไยในประเทศไทย

พื้นที่การผลิตลำไยที่สำคัญคือจังหวัดที่อยู่ในเขตภาคเหนือ ได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน และพะเยา นอกจากนี้ยังมีการปลูกในภาคตะวันออก เช่น อำเภอสอยดาวและโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรี ภาคกลาง เช่น จังหวัดสมุทรสาคร สมุทรสงคราม ปัจจุบันลำไยได้แพร่กระจายไปใน จังหวัดต่าง ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเลย หนองคาย นครพนม

ภาคใต้ เช่น จังหวัดพัทลุง สงขลา และนครศรีธรรมราช เป็นต้น ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 ได้แสดงพื้นที่และจำนวนผลผลิตโดยแบ่งเป็นภูมิภาค

ตารางที่ 3 พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตลำไยในประเทศไทยระหว่างปี 2554 ถึง 2555

เขตเพาะปลูก	จำนวนพื้นที่เพาะปลูก (ไร่)		ผลผลิตลำไย (กิโลกรัม)	
	ปี 2554	ปี 2555	ปี 2554	ปี 2555
ภาคเหนือ	892,512	884,361	593,222	625,291
ภาคกลาง	118,758	133,173	156,112	205,683
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	49,108	46,004	22,765	22,806
รวมทั้งประเทศ	1,060,378	1,063,538	772,099	853,870

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556)

พันธุ์ลำไย

แบ่งตามชนิด การเจริญเติบโต ลักษณะผล เนื้อ เมล็ด และรสชาติได้ 2 ประเภท คือ

1. ลำไยเครือหรือลำไยเถา มีลำต้นเลื้อยคล้ายเถาวัลย์ มีผลเล็กเมล็ดโต เนื้อผลมีกลิ่นคล้ายกำมะถันปลูกไว้เป็นไม้ประดับมากกว่ารับประทาน
2. ลำไยต้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1) ลำไยพันธุ์พื้นเมือง 2) ลำไยกะโหลก มีอยู่หลายพันธุ์ดังนี้

พันธุ์ลำไยในประเทศไทย (สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 จังหวัดเชียงใหม่, 2555)

1. พันธุ์ดอหรือพันธุ์ดอเป็นลำไยพันธุ์เบาที่ออกดอกและเก็บผลก่อนพันธุ์อื่น ชาวสวนนิยมปลูกมากที่สุด ราคาดี เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดี โดยเฉพาะในดินอุดมสมบูรณ์และมีน้ำพอเพียงทนแล้งและ ทนน้ำได้ดีปานกลาง พันธุ์ดอแบ่งตามสีของยอดอ่อนได้ 2 ชนิดคือ

1.1 พันธุ์ดอยอดแดงเจริญเติบโตเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ดอยอดเขียว ลำต้นแข็งแรงไม่ฉีกหัก ได้ง่ายเปลือกลำต้นสีน้ำตาลปนแดงใบแบนสีแดงปัจจุบันดอยอดแดงไม่ค่อยนิยมปลูก เนื่องจากออก ดอกติดผลไม่ดีและเมื่อผลเริ่มสุกถ้าเก็บไม่ทันผลจะร่วงเสียหายมาก

1.2 พันธุ์ดอยอดเขียวมีลักษณะต้นคล้ายพันธุ์ดอยอดแดงแต่ใบอ่อนเป็นสีเขียวออกดอกติดผลง่าย แต่ อาจไม่สม่ำเสมอนอกจากนี้ลำไยพันธุ์พันธุ์ดอยังแบ่งตามลักษณะของก้านช่อผลได้ 2 ชนิด คือ พันธุ์ดอก้าน อ่อนเปลือกของผลจะบางและพันธุ์ดอก้านแข็งเปลือกผลจะหนาผลขนาด

ค่อนข้างใหญ่ ทรงผลกลม แป้น เบี้ยวยกบ่าข้างเดียว ผิวสีน้ำตาล มีกระหรือตาห่าง สีน้ำตาลเข้ม เนื้อค่อนข้างเหนียว สีขาวขุ่น เมล็ด ขนาดใหญ่ปานกลางรูปร่างแบนเล็กน้อย

2. พันธุ์ชมพูหรือสีชมพูเป็นลำไยพันธุ์กลาง มีรสชาตินิยมรับประทานทรงพุ่มต้นสูงโปร่ง กิ่งเปราะหักง่ายการเจริญเติบโตดีไม่ทนแล้งเกิดดอกติดผลง่ายปานกลางการติดผลไม่สม่ำเสมอ ข้อผลยาว ผลขนาดใหญ่ปานกลางทรงผลค่อนข้างกลมเบี้ยวเล็กน้อยผิวสีน้ำตาลอมแดงผิวเรียบมีกระสีคล้ำตลอดผลเปลือกหนาแข็งและเปรี้ยวเนื้อหนาปานกลางนิ่มและกรอบสีชมพูเรื่อยๆถึงผลแก่จัดสีของเนื้อยิ่งเข้มเนื้ออ่อนรสหวานกลิ่นหอมเมล็ดค่อนข้างเล็ก

3. พันธุ์เขียวเขียวหรือพันธุ์เขียวเป็นลำไยพันธุ์หนักเจริญเติบโตดีทนแล้งได้ดีแต่มักอ่อนแอ ต่อโรคพุ่มไม้กวาด เกิดดอกยาก มักเว้นปี ข้อผลหลวม สีของผลเมื่อมีขนาดเล็กสีเขียวพันธุ์เขียวเขียว แบ่งได้เป็น 2 ชนิดเขียวเขียวก้านแข็ง (พันธุ์เขียวเขียวป่าเส้า) และพันธุ์เขียวเขียวก้านอ่อน (พันธุ์เขียวเขียวป่าแดด) เขียวเขียวก้านแข็งให้ผลไม่ตกแต่ขนาดผลใหญ่มากแต่ติดผลน้อยไม่ค่อยนิยมปลูก ส่วนพันธุ์เขียวเขียวก้านอ่อน ให้ผลตกเป็นพวงใหญ่ ผลมีขนาดใหญ่ ทรงผลกลมแบนและเบี้ยวมากเห็นได้ชัด ผิวสีเขียวอม น้ำตาล ผิวเรียบ เปลือกหนาและเหนียว เนื้อหนาแห้งกรอบอ่อนง่าย สีขาว มีน้ำน้อย รสหวานแหลม กลิ่นหอม เมล็ดค่อนข้างเล็ก

4. พันธุ์แห้วหรือพันธุ์แห้วเป็นลำไยพันธุ์หนัก ลำต้นไม่ค่อยแข็งแรงเปลือกลำต้นสีน้ำตาลปนแดง เขียว เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีมาก ทนแล้งได้ดี พันธุ์แห้วแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือพันธุ์แห้วยอดแดงและ พันธุ์แห้วยอดเขียว ลักษณะแตกต่างกันที่สีของใบอ่อนหรือยอด พันธุ์แห้วยอดแดงมีใบอ่อนเป็นสีแดง พันธุ์แห้วยอดเขียวมีใบอ่อนหรือยอดเป็นสีเขียว เกิดดอกและติดผลค่อนข้างยากอาจให้ผลเว้นปี ข้อดอกสั้นขนาด ผลในช่อมักไม่สม่ำเสมอ ผลขนาดใหญ่หรือปานกลาง ทรงผลกลมและเบี้ยวฐานผลบวม ผิวสีน้ำตาล มีกระสีคล้ำตลอดผล เปลือกหนา เนื้อหนา แน่น แข็งและกรอบ สีขาวขุ่น รสหวานแหลม กลิ่นหอม มีน้ำปานกลาง เมล็ดขนาดค่อนข้างเล็ก แห้วยอดแดงจะออกดอกง่ายกว่าแห้วยอดเขียว และมีเนื้อสี ค่อนข้างขุ่นน้อยกว่าและมีปริมาณน้ำมากกว่าแห้วยอดเขียว

5. พันธุ์ใบดำหรือพันธุ์ดำหรือกะโหลกใบดำเป็นลำไยพันธุ์กลาง ออกดอกติดผลสม่ำเสมอ เจริญเติบโตดีมาก ทนแล้งและน้ำได้ดี ข้อเสียคือ ผลโตเต็มที่เล็กกว่าพันธุ์อื่นๆ มีผลขนาดใหญ่ปานกลาง ค่อนข้างกลม แป้นและเบี้ยวเล็กน้อย ผิวสีน้ำตาล ผิวขรุขระ เปลือกหนาและเหนียว ทนทานต่อการขนส่ง เนื้อหนาปานกลาง สีขาวครีม รสหวาน เมล็ดขนาดเล็ก รูปร่างค่อนข้างยาวและแบน

6. พันธุ์แดงหรือพันธุ์แดงกลม เป็นลำไยพันธุ์กลาง ผลกลม เนื้อมีกลิ่นควาคล้ายกำมะถันทำให้คุณภาพไม่ค่อยดี การเจริญเติบโตดีปานกลาง ไม่ทนแล้ง และไม่มีน้ำขังจึงล้มง่ายมักยืนตายเมื่อเกิด สภาพน้ำขังหรือปีที่ติดผลตก พันธุ์แดงแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ พันธุ์แดงเปลือกหนาและพันธุ์แดงเปลือกบาง พันธุ์แดงเกิดดอกและติดผลง่าย ติดผลค่อนข้างคงที่ ผลขนาดใหญ่ปานกลางขนาดผลค่อนข้างสม่ำเสมอ ทรงผลกลม ผิวสีน้ำตาลอมแดง ผิวเรียบ เปลือกบาง เนื้อหนาปานกลาง สีขาว

ครีมเนื้อเหนียว มีน้ำมากจึงมักฉะ เมล็ดรูปร่างป้อม จุกใหญ่มาก แดงเปลือกหนามีขนาดผลใหญ่กว่าเปลือกหนากว่า เนื้อหนากว่า ส่วนลักษณะอื่นๆคล้ายคลึงกัน

7. พันธุ์พันธุ์เหลืองหรือเหลือง มีทรงพุ่มค่อนข้างกลม ออกผลดก กิ่งเปราะจึงหักง่ายเมื่อมีผลดก มากๆ ผลค่อนข้างกลม เนื้อสีขาวนวล เมล็ดกลม

8. พันธุ์พวงทองเป็นพันธุ์ที่ช่อดอกขนาดใหญ่กว้าง ผลทรงค่อนข้างกลมและเปี้ยวเล็กน้อยผิวสีน้ำตาลมีกระสีน้ำตาล เนื้อหนา กรอบ สีขาวครีม รสหวาน เมล็ดขนาดปานกลางและแบน

9. พันธุ์เพชรสาครทวาย จัดว่าเป็นลำไยพันธุ์ทวายคือ สามารถออกดอกมากกว่าหนึ่งครั้งต่อปี มีใบขนาดเล็ก เรียวแหลม ออกดอกและให้ผลผลิตปีละ 2 รุ่น คือ รุ่นแรกออกดอกราวเดือนธันวาคม - มกราคม และเก็บผลได้ประมาณเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน รุ่นที่สองออกดอกราวเดือนกรกฎาคม ถึงสิงหาคม เก็บเกี่ยวผลได้ในเดือนธันวาคม - มกราคม ผลกลม เปลือกบาง เนื้อมีสีขาวฉ่ำน้ำ

10. พันธุ์ปู้มาตีนโค้งมีผลสวยงาม ขนาดใหญ่ สีเขียวให้ผลดกแต่คุณภาพและรสชาติไม่ดกลิ้นควาว ปัจจุบันพันธุ์นี้ลดลงเป็นอย่างมากคงมีแต่สวนเก่าๆซึ่งมีเพียงบางต้นเท่านั้น

11. พันธุ์ตลับนาค ผลขนาดใหญ่ ค่อนข้างกลม ผิวเปลือกเรียบ เนื้อหนา สีขาวใส เมล็ดเล็ก รสไม่ค่อยหวานจัด

การกำหนดมาตรฐานลำไยในประเทศไทย (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546)

1. คุณภาพขั้นต่ำ (Minimum Requirements)

ผลลำไยต้องผ่านการเก็บเกี่ยวอย่างถูกต้อง ตามกระบวนการเก็บเกี่ยวและการดูแลภายหลัง การเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมกับพันธุ์และแหล่งผลิต ผลลำไยต้องแก่และสภาพของผลอยู่ใน สภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง สีของผล (เปลือกผล) และเนื้อจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์สีของ เปลือกผลลำไยอาจจะจางลงได้ในกรณีที่มีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทุกชั้นของมาตรฐานลำไยต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้น และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามที่ระบุไว้ คือ

- 1.1 เป็นผลลำไยสดทั้งผล
- 1.2 มีลักษณะคุณภาพที่ดีไม่เน่าเสีย
- 1.3 ต้องไม่มีความบอบช้ำและตำหนิที่เห็นเด่นชัด
- 1.4 ปลอดภัยจากศัตรูพืชเท่าที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

- 1.5 ปลอดภัยจากความเสียหายอันเนื่องมาจากศัตรูพืชเท่าที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ
- 1.6 ปลอดภัยจากความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำ
- 1.7 ปลอดภัยจากกลิ่นและรสผิดปกติยกเว้นกลิ่นอันเกิดจากการใช้วัตถุเจือปนอาหารตาม

ข้อกำหนด

2. การแบ่งชั้นคุณภาพผลลำไยต้องผ่านการเก็บเกี่ยวอย่างถูกต้องตามกระบวนการเก็บเกี่ยว และการดูแลภายหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมกับพันธุ์และแหล่งผลิต ผลลำไยต้องแก่ และสภาพของผลอยู่ในสภาพที่ยอมรับได้เมื่อถึงปลายทาง สีของผล (เปลือกผล) และเนื้อจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ สีของเปลือกผลลำไยอาจจะจางลงได้ ในกรณีที่มีการรมด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ชั้นคุณภาพสามารถแบ่งเป็น 3 ชั้นคุณภาพดังนี้

2.1 ชั้นพิเศษ (Extra Class) ผลลำไยชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดีที่สุด ตรงตามพันธุ์ผลต้อง ปลอดภัย ตำหนิ ยกเว้นตำหนิผิวเผินเล็กน้อยโดยไม่มีผลต่อรูปลักษณ์ทั่วไปของผลิตผล คุณภาพการ เก็บรักษา และการจัดเรียงสินค้าในภาชนะบรรจุ

2.2 ชั้นหนึ่ง (Class I) ผลลำไยชั้นนี้ต้องมีคุณภาพดีที่สุดในตรงตามพันธุ์ ผิวมีตำหนิได้ เล็กน้อย โดยไม่มีผลต่อรูปลักษณ์คุณภาพ คุณภาพการเก็บรักษา และการจัดเรียงสินค้าในภาชนะ บรรจุตำหนิ ผิวเล็กน้อยโดยพื้นผิวตำหนิรวมต่อผลไม่เกิน 0.5 ตารางเซนติเมตร

2.3 ชั้นสอง (Class II) ชั้นนี้รวมผลลำไยที่ไม่เข้าชั้นชั้นที่สูงกว่า แต่มีคุณภาพตามเป็นไป ตาม มาตรฐานขั้นต่ำ พื้นผิวมีตำหนิรวมต่อผลไม่เกิน 0.5 ตารางเซนติเมตร โดยยังคงคุณภาพ คุณภาพ การเก็บรักษาและการจัดเรียงสินค้าในภาชนะบรรจุ

3. ข้อกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (Provisions concerning tolerances) เกณฑ์ ความคลาดเคลื่อนเรื่องคุณภาพและขนาดแบ่งเป็น

3.1 ชั้นพิเศษยอมให้มีผลลำไยที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นพิเศษแต่เป็นไป ตาม คุณภาพของชั้นหนึ่งหรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคุณภาพชั้นหนึ่ง ปนมาได้ไม่เกิน 5% โดยจำนวนหรือน้ำหนัก

3.2 ชั้นหนึ่งยอมให้มีผลลำไยที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นหนึ่งแต่เป็นไปตาม คุณภาพ ของชั้นสองหรือยกเว้นว่าคุณภาพยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ของคุณภาพชั้นสองปน มาได้ไม่ เกิน 10% โดยจำนวนหรือน้ำหนัก

3.3 ชั้นสองยอมให้มีผลลำไยที่คุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นสองหรือไม่ได้ คุณภาพชั้นต่ำ ปนมาได้ 10% โดยไม่มีผลเน่าเสียจนไม่เหมาะต่อการบริโภค

4. การกำหนดด้านขนาด

ขนาดของผลจะพิจารณาจากจำนวนผลต่อกิโลกรัมสามารถพิจารณาได้สองแบบ คือแบบลำไยช่อและแบบผลลำไยเดี่ยว ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ขนาดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ขนาดลำไยแบ่งตามลักษณะแบบช่อและแบบผลเดี่ยว

ขนาด	แบ่งตาม จำนวนผล / กก.		ขนาดผล ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางผล (มม.)
	ลำไยช่อ	ลำไยผลเดี่ยว	
1	<85	<91	> 28
2	85 - 94	91 - 100	27 - 28
3	95 - 104	101 - 111	26 - 27
4	105 - 114	112 - 122	25 - 26
5	>=115	>=123	24 - 25
6	-	-	22 - 24

ที่มา: มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.1-2546)

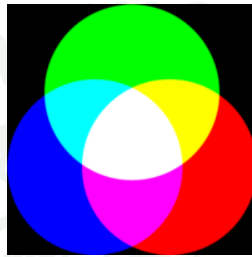
เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเรื่องขนาด (Size Tolerances) ยอมให้ลำไยทุกชั้นมีขนาดที่ใหญ่หรือเล็กกว่าในชั้นถัดไปหนึ่งชั้นปนมาได้ไม่เกิน 20% สำหรับลำไยที่ขายเป็นช่อและไม่เกิน 10% สำหรับลำไยที่ขายเป็นผลเดี่ยวโดยจำนวนหรือน้ำหนัก

เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพในงานเกษตร

เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพเป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายวิธีหนึ่งซึ่งใช้หลักการการตรวจสอบเชิงแสง โดยใช้เซนเซอร์ตัวรับที่ตอบสนองย่านแสงหรือเซนเซอร์ภาพ ซึ่งทำหน้าที่รับแสงที่ตกกระทบบนตัวเซนเซอร์แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล สัญญาณดังกล่าวเรียกว่าสัญญาณภาพ ภายในสัญญาณภาพเหล่านั้นประกอบด้วยเม็ดสีมากมายที่วางเรียงกันอย่างเป็นลำดับที่แน่นอนเม็ดสีที่เล็กที่สุดเรียกว่าพิกเซล (Pixel) มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบขึ้นอยู่กับการใช้งานไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือการแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปสซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสีคือแกนสีแดง เขียวและน้ำเงิน ในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation)

รูปแบบของสี Color Model

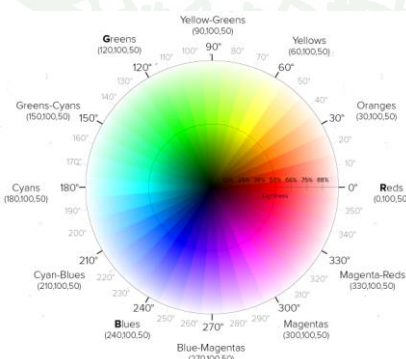
ระบบสี RGB Model (ภาพที่ 3) เป็นระบบสีที่เลียนแบบการมองเห็นของ Monitor เกิดจากการรวมกัน ของแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน โดยมีการรวมกันแบบ Additive ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (Cathode ray tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งานได้แต่ RGBCIE และ RGBNTSC



ภาพที่ 3 ระบบสีแบบ RGB

ที่มา: Gonzalez (1992)

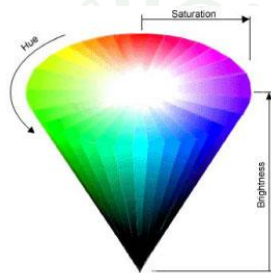
ระบบสี HSV (Hue Saturation Value) หรือระบบ HSB (Hue Saturation Brightness) แสดงในภาพที่ 4 และ 5 เป็นระบบที่เลียนแบบการมองเห็นสีของมนุษย์ การพิจารณาสีโดยใช้ Hue Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือค่าสีของสีหลัก (แดง เขียวและน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตาม สเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้งซึ่งสามารถแทนเป็นรูปวงกลมมองศาสตร์ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่า Hue และ Saturation ในระบบสีแบบ HSV หรือ HSB

ที่มา: Gonzalez (1992)

วงกลมของสีประกอบด้วย สีแดง = 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา ค่า Saturation เป็นความอิ่มตัวของสีหรือความเข้มข้นของสี Saturation คือสัดส่วนของสี (Hue) ที่มีอยู่ในสีเท่าที่ค่าเป็นเปอร์เซ็นต์คือจาก 0% (สีเทา) จนถึง 100% (Fully Saturation สีที่มีความอิ่มตัว) วัดโดยตำแหน่งบน Standard Color Wheel ค่า Saturation จะเพิ่มขึ้นจากจุดกึ่งกลางถึงเส้นขอบ ขณะที่ค่า Brightness เป็นค่าความสว่างและความมืดของสีซึ่งถูกกำหนดให้แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์จาก 0% (สีดำ) ถึง 100% (สีขาว) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ค่า Hue หรือ Brightness ระบบสีแบบ HSV หรือ HSB

ที่มา: Gonzalez (1992)

HSV Model จะมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงในสนามมากกว่าการใช้ RGB Model เนื่องจากหากภาพที่ความสว่างมากค่า Hue และ Saturation จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีเพียงค่า Value หรือ Brightness เปลี่ยนแปลงเพียงค่าเดียวเท่านั้น

การเก็บข้อมูลภาพ (Image acquisition and storage)

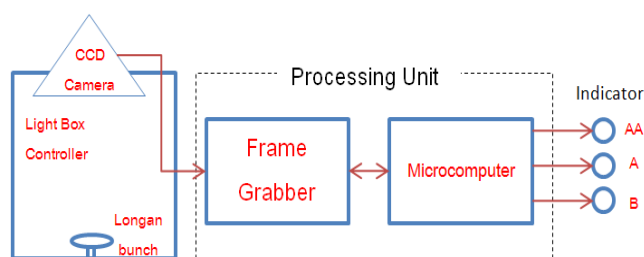
การเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองพื้นที่หน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปของตัวแปรอะเรย์ (array) โดยค่าในแต่ละช่องของอะเรย์แสดงถึงคุณสมบัติของ จุดภาพ (pixel) และตำแหน่งของช่องอะเรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ (Gonzalez, 1992) เช่น ให้ Image เป็น ตัวแปรแบบอะเรย์ขนาด $M \times N$ (M แถว และ N คอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด $M \times N$ จุด (M จุดใน แนวนอน และ N จุดในแนวตั้ง) ค่าสี (หรือความสว่างในกรณีที่เป็นภาพ grey level) ของจุดภาพ ในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 4 จะตรงกับค่าของ Image (5,4) จะเห็นว่าเราใช้ ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอะเรย์จากการใช้หน่วยความจำเพื่อการเก็บภาพ ในลักษณะที่กล่าวมานี้ที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก $M \times N \times g$ เมื่อ g เป็นจำนวนเต็ม ที่แทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ตัวอย่างถ้า g มีค่าเท่ากับ 8 บิต เราจะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับ ค่า M และ N จะเป็นตัวบอกถึงความละเอียดของ ภาพสำหรับคอมพิวเตอร์ ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640×480 , 800×600 และ 1024×768 จุดเป็นต้น จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละจุดภาพขึ้นอยู่กับ

กับจำนวน บิตที่ใช้เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้นจะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น

- 1 บิต = $2^1=2$ สี
- 2 บิต = $2^2=4$ สี
- 4 บิต = $2^4=16$ สี
- 8 บิต = $2^8=256$ สี
- 16 บิต = $2^{16}=65536$ สี เป็นต้น

การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image preprocessing)

เริ่มต้นด้วยการรับภาพจากเซ็นเซอร์รับภาพหรือกล้องถ่ายภาพ เซ็นเซอร์รับภาพอาจจะเป็นแบบ Charge Coupled Device (CCD) หรือ Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) จากนั้นภาพที่ได้จะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลแบบดิจิทัลด้วยอุปกรณ์แปลงข้อมูลหรือเฟรมแกรบเบอร์ (Frame grabber) ก่อนส่งต่อไปยังตัวประมวลผลเพื่อประมวลผลภาพในขั้นตอนต่อไปดังรายละเอียดในภาพที่ 6

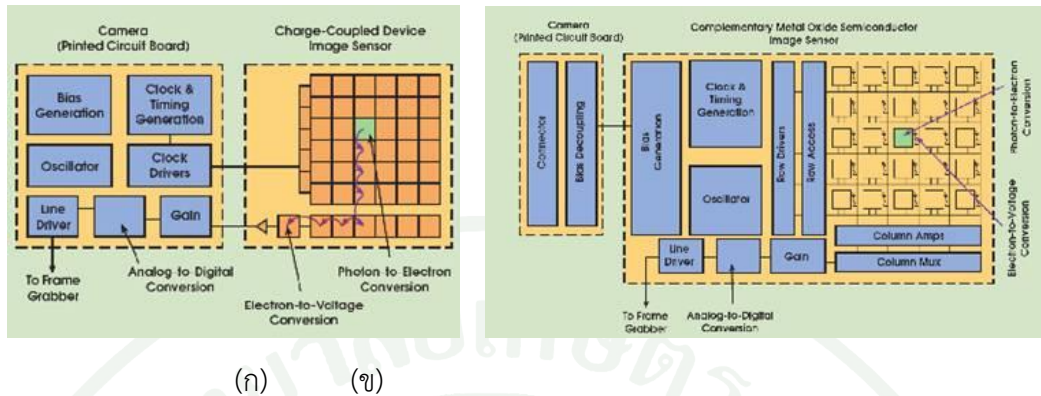


ภาพที่ 6 ไดอะแกรมการรับ-ส่งภาพ

ชนิดของตัวรับสัญญาณ

เซนเซอร์แบบ CCD ภาพที่ 7ก. มีลักษณะเป็นอุปกรณ์อนาล็อก ประกอบไปด้วยหลอดโฟโตไดโอดทำด้วยซิลิคอน เมื่อแสงตกกระทบตัวชิปแล้วจะถูกเก็บไว้เป็นประจุอิเล็กตรอนปริมาณน้อยๆ ในตัวเซนเซอร์ ซึ่งประจุเหล่านี้จะถูกแปลงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ละหนึ่งพิกเซลขณะที่ถูกอ่านจากตัวชิป จากนั้นกระแสไฟในตัวกล้องจะแปลงแรงดันไฟฟ้านี้ไปเป็นข้อมูลดิจิทัลอีกทีหนึ่ง

ชิปแบบ CMOS ภาพที่ 7ข. มีลักษณะเป็นเซนเซอร์พิกเซลตอบสนอง ที่สร้างโดยกระบวนการประจุกึ่งตัวนำสำหรับ CMOS ซึ่งจะมีแผงวงจรเพิ่มขึ้นมาข้างเซนเซอร์ภาพเพื่อแปลงพลังงานแสงเป็นแรงดันไฟฟ้า จากนั้นแผงวงจรเสริมบนตัวชิปก็จะแปลงแรงดันไฟฟ้านั้นเป็นข้อมูลดิจิทัลได้ทันที



(ก) (ข)

ภาพที่ 7 โครงสร้างของเซ็นเซอร์รับภาพแบบ (ก) CCD (ข) CMOS

ที่มา: Litwiler (2001)

การกรองข้อมูลภาพ (Image filtering)

คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (Enhance) หรือลดทอน (attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

การกรองข้อมูลภาพคือการประมวลผลภาพอย่างหนึ่งที่สำคัญมากเนื่องจากในการใช้งานจริงภาพที่ได้มามักมี สัญญาณรบกวนหรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่นๆปะปนอยู่ด้วย การกรองข้อมูลภาพสามารถ ปรับปรุงให้ภาพมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเหมาะแก่การประมวลผลในขั้นต่อไป

1. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ (Mean filtering)

วิธีนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยแบบคณิตศาสตร์ของจุดทั้งหมด หากมีภาพขนาด $N \times M$ ทั้งหมด K ภาพ เราสามารถคำนวณหาภาพใหม่ได้ดังสมการที่ 1

$$\hat{I}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K I_j(x, y) \quad \dots (1)$$

$I(x, y)$ คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง (x, y) ในภาพที่ j

$\hat{I}(x, y)$ คือความเข้มแสงของจุด ณ ตำแหน่ง (x, y) ในภาพผลลัพธ์

2. การกรองข้อมูลภาพโดยใช้ค่ามัธยฐาน (Median filtering)

วิธีการนี้จะนำเอาความเข้มแสงของจุดที่ตรงกันในภาพต่างๆ มาเรียงลำดับ (Sort) จากน้อย ไปหามากจากนั้น จะเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางไปใช้ หากจำนวนภาพทั้งหมดเป็นจำนวนคู่ค่าทั้งสองที่อยู่ ตรงกลางจะนำมาหาค่าเฉลี่ย วิธีการนี้จะต้องใช้การเรียงลำดับซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการ คำนวณสูงแต่ข้อดีคือไม่สูญเสียความคมชัด

ตัวอย่างข้อมูลภาพแบบอะเรย์ 4x4

ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ผลลัพธ์
1 2 1 3	2 3 4 3	3 2 1 4	2 2 1 3
4 2 2 1	5 3 4 1	2 1 4 0	4 2 4 1
0 1 1 3	3 2 4 2	1 4 2 0	1 2 2 2
2 2 1 1	1 3 1 2	2 4 0 2	2 3 1 2

3. การกรองโดยวิธีคอนโวลูชัน

วิธีการกรองข้อมูลภาพที่กล่าวมาส่วนใหญ่อาศัยหลักของการหาค่าเฉลี่ยโดยอาจเป็นการหา ค่าเฉลี่ยของจุดเดียวกันจากภาพหลายๆภาพหรืออาจเป็นการหาค่าเฉลี่ยจากจุดต่างๆที่อยู่รอบๆ จุดที่เราสนใจเนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยเป็นการ ลดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลวิธีการที่ผ่านมาจึงใช้ได้ ดีกับ การกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นสัญญาณความถี่สูงการกรองสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อนำ คุณสมบัติบางอย่างที่ต้องการในภาพให้เด่นชัดขึ้นและลดทอนคุณสมบัติที่ไม่ต้องการลง หากเราต้องการ เน้นการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของจุดต่างๆภายในภาพให้เด่นชัดขึ้นในที่นี้จะเสมือนกับการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านเราจะไม่สามารถใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ วิธีที่สามารถนำมาใช้ได้คือ การคอนโวลูชัน (Convolution)

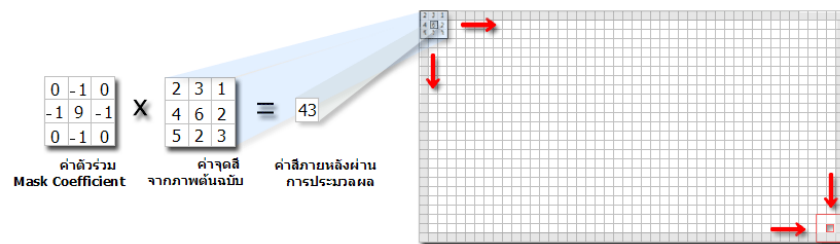
4. การกรองโดยใช้ Mask and Convolution

Convolution เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ Convolution ใช้กระบวนการ Sum of Product ระหว่าง Mask หรือ Array ใดๆ และ ภาพที่ต้องการประมวลผล โดยใช้วิธีการเลื่อน Mask ไปบนภาพแล้วหา Sum of Product กับทุกๆ Pixel ดังสมการที่ 2

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[n-k] \quad \dots (2)$$

โดย $x[k]$ คือ ภาพที่ต้องการประมวลผล
 โดย $y[n]$ คือ ภาพเอ้าท์พุท
 โดย $h[n-k]$ คือ Mask หรือ Array ที่ต้องการทำ Convolution กับภาพ

ตัวอย่าง การทำ Convolution ดังภาพที่ 8



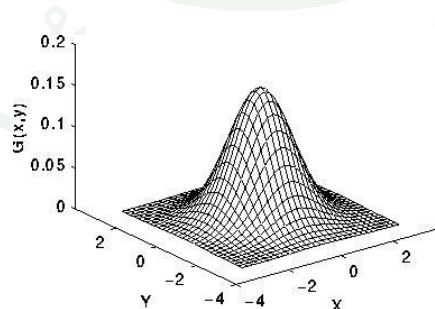
ภาพที่ 8 ตัวอย่างการทำ Convolution ร่วมกับ Mask ที่กำหนด

5. การกรองโดยใช้ Gaussian Filter

Gaussian Filter เป็น Filter ที่มีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำดังภาพที่ 9 ใช้สำหรับลด Noise และเบลอภาพ โดยการนำ Gaussian Filter ไปทำการ Convolution กับภาพที่นำมาประมวลผล Gaussian Filter สามารถสร้างได้จากสมการที่ 3 (Milan, 1998) เมื่อใช้ $\sigma = 1$ จะได้ค่าดังภาพที่ 10

$$G(x, y) = \frac{1}{k} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{\sigma^2}} \quad \dots (3)$$

เมื่อ σ คือ Standard Deviation
 $k = 2\pi\sigma^2$ หรือ ผลรวมของ Gaussian Filter



ภาพที่ 9 ลักษณะของฟิลเตอร์แบบ Gaussian

$$\frac{1}{273}$$

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

ภาพที่ 10 ค่าฟิลเตอร์แบบ Gaussian ขนาด 5x5 เมื่อ $\sigma = 1$

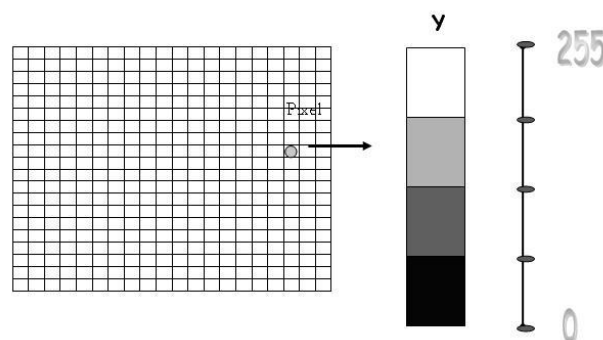
ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม คือการทำกราฟฟิกที่แสดงถึงความถี่ของระดับค่าความเทา (Gray Level) ของภาพถ้าใช้จำนวนบิตของข้อมูลที 8 บิตต่อ 1 จุด (Pixel) ระดับค่าความเทาจะมีระดับ 256 หรือตั้งแต่ค่าระดับ 0 ถึง 255 การแปลงภาพให้อยู่ในระดับสีเทาเป็นขั้นตอนในการแปลงภาพที่เป็นภาพสีให้กลายเป็นภาพระดับสีเทาเพื่อให้ข้อมูลในการประมวลผลน้อยลง ลดพื้นที่ในหน่วยความจำโดยมีขั้นตอนดังนี้

อ่านค่าจากภาพที่ถ่ายมาได้ ในตำแหน่งของพิกัด X, Y ซึ่งจะได้ค่าออกมาเป็นแม่สี (RGB) แล้วนำค่าที่ได้มาหา ค่าความเข้มแสง (Y) ดังสมการที่ 4 (Milan, 1998) ต่อไปนี้

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad \dots (4)$$

ค่า Y ที่ได้มาจะเป็นค่าความเข้มของแสง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ระดับ 0 ถึง 255 หรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นระดับความเทา จากนั้นนำค่า Y ที่ได้มาแปลงกลับคืนไปยัง ณ ตำแหน่งพิกัด X, Y ที่อ่านมาในตอนแรกทำจนกระทั่งครบทุกพิกเซลและค่า Y ที่ได้นั้นสามารถนำไปพล็อตกราฟให้เป็นฮิสโตแกรมได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ค่า Y ของจุด Pixel ในอะเรย์ภาพ

การหาขอบภาพ (Edge detection)

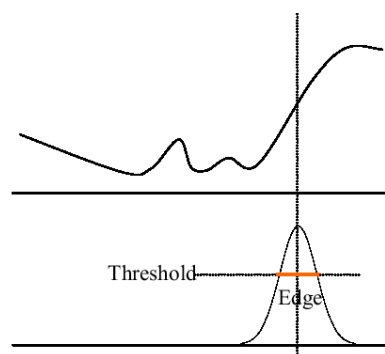
การหาขอบภาพ (Edge Detection) เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพดิจิทัลเมื่อทราบเส้นรอบวัตถุก็สามารถคำนวณหาขนาดของพื้นที่หรือจดจำชนิดของวัตถุนั้นได้ อย่างไรก็ตามการหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์นั้น เป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากพอสมควรโดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบของภาพที่มีคุณภาพต่ำและมีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อยหรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาพซึ่งขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ถ้าหากความแตกต่างนั้นมีค่ามากขอบภาพก็จะเห็นได้ชัดเจน ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อยขอบภาพก็จะไม่ชัดเจน เทคนิคเบื้องต้นในส่วนของ การหาขอบภาพ (Edge Detection) ที่ใช้กันมากคือการตรวจหาขอบภาพด้วยอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Order Derivative) ได้แก่ การหาขอบภาพด้วย Sobel, Prewitt, Frei-Chen และอนุพันธ์ อันดับที่สอง (Second Order Derivative) ได้แก่การหาขอบภาพด้วย Laplacian เป็นต้น

1. การหาขอบด้วยวิธี Gradient method

วิธีนี้จะหาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่า Threshold ดังภาพที่ 12 จึงอาจทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะหนา ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt, Sobel และ Canny เป็นต้น

ขอบภาพถ่าย

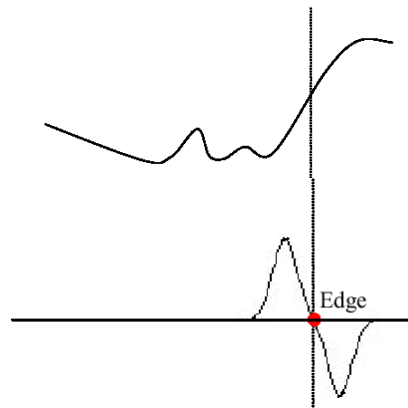
Gradient method



ภาพที่ 12 การหาขอบของภาพถ่ายด้วยวิธี Gradient

2. การหาขอบด้วยวิธี Laplacian method

จะหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับ 2 โดยใช้จุดที่ค่า y เป็น 0 (Zerocrossing) ดังภาพที่ 13 ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า Gradient method ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth เป็นต้น



ภาพที่ 13 การหาขอบของภาพถ่ายด้วยวิธี Laplacian

3. การหาขอบด้วยวิธี Canny Edge Detection

จุดประสงค์ของการหาขอบภาพโดยทั่วไปคือเพื่อลดจำนวนของข้อมูลภาพอย่างมีนัยสำคัญขณะที่ยังคงมีข้อมูลและคุณสมบัติที่สำคัญๆ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการประมวลผลภาพต่อไปได้ต่อไป Canny edge detector คือกระบวนการหาขอบวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในฐานะเครื่องมือตัวหนึ่งทางการประมวลผลด้วยภาพเพื่อตรวจสอบขอบของภาพถูกพัฒนาโดย John F. Canny (JFC) ในปี 1986 จุดประสงค์ของการพัฒนาเพื่อสร้างอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการประมวลผลด้วยภาพดังมีขั้นตอนต่อไปนี้

Smoothing เป็นการทำให้ภาพให้เบลอเพื่อลดสิ่งรบกวนของภาพซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดบนภาพได้ โดยใช้ Gaussian smoothed filter เพื่อปรับระดับภาพให้เบลอ ตัวกรองแบบ Gaussian เป็นแบบ 2 มิติใช้ค่าซิกม่าที่ 1.4 คำนวณได้จากสมการที่ 3 และสามารถสร้างเป็นแมทริกซ์ของตัวกรองแบบ Gaussian ได้ดังแมทริกซ์ข้างล่าง

$$\frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ค่า Discrete โดยประมาณของฟังก์ชัน Gaussian แบบ 3x3 ด้วย $\sigma = 1.4$

Finding gradients อัลกอริทึมของ canny โดยพื้นฐานเป็นการหาขอบที่ระดับความเข้มของระดับเทาของภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดพื้นที่เหล่านั้นจะถูกหาโดยการประมาณค่าของระดับความเข้ม (สีเทา) ของภาพในที่นี้สมมติว่าความเข้มของฟังก์ชันความเข้มแสงเป็น $f(x,y)$ การไล่ระดับความเข้มหรือความเป็นสีเทาของภาพสามารถหาได้จากเวกเตอร์ดังนี้

$$\nabla f(x, y) \doteq \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) = (fx, fy)$$

เกรเดียนท์ที่แต่ละพิกเซลในภาพที่สมูทแล้วนั้นจะถูกกำหนดให้ใช้ตัวดำเนินการแบบ sobel ดังเมตริกซ์ข้างล่างทั้งแกน x และแกน y

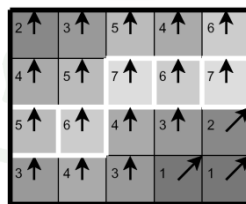
$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

ขนาดของระดับความเข้มหรือความเทาและทิศทางของระดับความเข้มหรือความเทาเป็นความต่อเนื่องของฟังก์ชันของภาพสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 และ 6

$$|\text{grad } f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad ..(5)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{x}{y} \quad ..(6)$$

Non-maximum suppression จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อแปลงขอบของภาพที่เบลอให้ชัดขึ้นโดยใช้การไล่ระดับความเข้มหรือความเทาของภาพ ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่างอย่างง่ายของวิธีของ non-maximum suppression เห็นได้ว่าเกือบทุกๆพิกเซลมีทิศทางของระดับความเข้มแสงไปทางด้านบนตัวเลขบ่งบอกถึงระดับความเข้ม (เลขน้อยจะเข้มมาก) โดยที่พิกเซลนั้นจะถูกเปรียบเทียบกับพิกเซลที่อยู่รอบๆตัวของพิกเซลนั้นๆพิกเซลที่ปรากฏเด่นชัดหรือค่ามากๆในการเปรียบเทียบแล้วจะถูกมาร์คให้เป็นที่ขาวหรือขอบขาว



ภาพที่ 14 ตัวอย่างการใช้วิธี non-maximum suppression

Double thresholding ขอบของภาพที่ยังเหลืออยู่จากขั้นต่อนก่อนหน้านี้จะยังคงถูกมาร์คให้เป็นที่พิกเซลหลักอยู่ซึ่งจำนวนพิกเซลเหล่านั้นก็จะเป็นขอบจริงๆของภาพแต่ก็มีบางอันที่ไม่ใช่และอาจจะเป็นสิ่งรบกวนหรืออาจจะเกิดบริเวณช่วงที่สีผิดเพี้ยนขอบของพิกเซลที่มีค่ามากกว่าค่า

การแบ่งระดับจะถูกมาร์คให้เป็นหลักขอบของพิกเซลที่มีค่าน้อยกว่าค่าการแบ่งระดับจะถูกกำจัดไปหรือละเลย และขอบพิกเซลที่มีค่าอยู่ระหว่างช่วงของค่าการแบ่งระดับนั้นจะถูกละเลยด้วยเช่นกัน

การแยกองค์ประกอบของภาพ (Image segmentation)

1. การเลือกระดับตัดภาพ (Thresholding)

เป็นขั้นตอนในการเลือกระดับการตัดภาพในจุดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการกำหนดระดับ ค่าความเทาในการแยกข้อมูลที่มี 256 ให้เหลือเพียง 2 ระดับ คือ 0 และ 255 หรือเรียกได้อีกแบบว่า เป็นการแยกวัตถุกับพื้นฉากโดย สามารถคำนวณจากจำนวนความถี่ของค่า Y ในฮิสโตแกรมดังนี้

กำหนดค่าระดับการตัดภาพเริ่มต้น (T_t) เพื่อใช้ในการตัดภาพนับค่าและจุดของพิกเซลที่มีค่าน้อยกว่าค่าระดับการตัดภาพให้ถือนับรวมเป็นจำนวนพิกเซลของวัตถุ

หาค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุจากสมการที่ 7 (Milan, 1998)

$$\mu'_{o} = \frac{\sum_{(x, y) \in \text{objects}} f(x, y)}{\# \text{object_pixels}} \quad \dots (7)$$

เมื่อ μ'_{o} คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุ
 $\in \text{objects} f(x, y)$ คือ ค่าความเข้มที่มีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าระดับ การตัดภาพ
 $\# \text{object_pixels}$ คือจำนวนจุดที่มีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าระดับการตัดภาพ

นับค่าและจุดของพิกเซลที่มีค่ามากกว่าค่าระดับการตัดภาพให้ถือนับรวมเป็นจำนวนพิกเซล ของพื้นหลัง

หาค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของพื้นหลังจากสมการที่ 8 (Milan, 1998)

$$\mu'_{B} = \frac{\sum_{(x, y) \in \text{background}} f(x, y)}{\# \text{background_pixels}} \quad \dots (8)$$

เมื่อ μ'_{B} คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุ
 $\in \text{background} f(x, y)$ คือ ค่าความเข้มที่มีค่าความเข้มมากกว่าค่าระดับ การตัดภาพ
 $\# \text{background_pixels}$ คือ จำนวนจุดที่มีค่าความเข้มมากกว่าค่าระดับการตัดภาพ

คำนวณค่า $T^{(t+1)} = \frac{1}{2}(\mu'_B + \mu'_O)$
 ตรวจสอบว่าค่า $T^{(t+1)} = T^t$ ถ้าไม่เท่ากันก็ให้หาค่า μ'_B และ μ'_O ใหม่จนกว่าจะ
 เท่ากัน

2. การแปลงภาพเป็น 2 ระดับ (Binarization)

เป็นขั้นตอนในการแปลงภาพให้ได้เป็น 2 ระดับ คือ 0 และ 255 โดยใช้ค่าของระดับการ
 ตัด ภาพที่ได้หมาก่อนแล้วในตอนแรกในการแปลงภาพให้เหลือ 2 ระดับ คือค่าที่ต่ำกว่าระดับการตัด
 ภาพจะให้ป็นระดับ 0 หรือสีดำส่วนค่าที่สูงกว่าระดับการตัดภาพจะให้ป็นระดับ 1 หรือสีขาวเมื่อ ได้
 ค่าของระดับการตัดภาพเรียบร้อยแล้วก็สามารถแปลงภาพให้ป็น 2 ระดับได้ดังสมการที่ 9

$$\begin{aligned} g(x, y) &= 0; f(x, y) < T \\ g(x, y) &= 1; f(x, y) \geq T \end{aligned} \quad \dots (9)$$

เมื่อ	$g(x, y)$	คือ ตำแหน่งพิกเซลใดๆบนภาพหลังจากการแปลงภาพให้ป็น 2 ระดับ
	$f(x, y)$	คือ ค่าระดับความเทาของตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ
	T	คือ ค่าที่ใช้ในการตัดภาพ

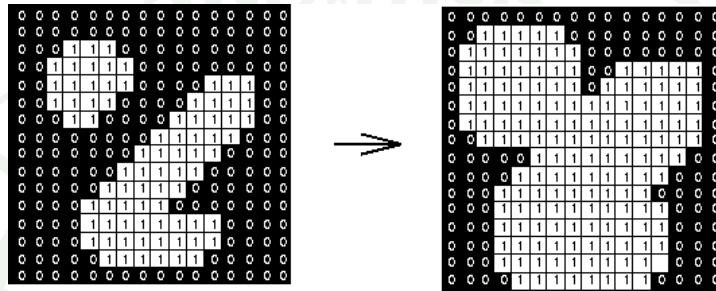
3. เทคนิคการ Dilation and Erosion

Dilation และ Erosion เป็น Operation พื้นฐานในการทำ Morphology กับ Binary
 Image Dilation เป็นการขยายขอบให้กับภาพ Foreground และ Erosion เป็นการลบขอบให้กับ
 ภาพ Foreground ดังนั้นภาพที่ผ่านการทำ Dilation แล้วจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในขณะที่เดียวกันรูใน
 ภาพก็จะมีขนาดเล็กลงด้วยในทางตรงกันข้ามภาพที่ผ่านการทำ Erosion จะมีขนาดเล็กลงและรูใน
 ภาพก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย การทำ Dilationจะใช้อินพุต 2 ตัวคือภาพและรูปแบบที่จะใช้ในการทำ
 Dilation และมีขั้นตอนคือพิจารณาอินพุต Pixel แต่ละตัวถ้า Pixel ที่พิจารณาเป็น Foreground
 Pixel ให้ทำการเปลี่ยนค่าของ Pixel รอบๆ Pixel ที่พิจารณาให้มีลักษณะตามรูปแบบที่ใช้ทำ
 Dilation ให้ป็นค่าของ Foreground Pixel ทั้งหมดทำให้ครบกับทุกจุดของภาพ การทำ Dilation
 กำหนดให้รูปแบบที่ใช้ทำ Dilation มีลักษณะป็น 8-Connection ขนาด 3x3 ดังภาพที่ 15 และให้
 Foreground Pixel มีค่าป็น 1 และ Background Pixel มีค่าป็น 0 และมีผลลัพธ์ดังภาพที่ 16 และ
 17

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Set of coordinate points =
 $\{ (-1, -1), (0, -1), (1, -1),$
 $(-1, 0), (0, 0), (1, 0),$
 $(-1, 1), (0, 1), (1, 1) \}$

ภาพที่ 15 รูปแบบ Dilation 8-Connection ขนาด 3x3



ภาพที่ 16 ผลลัพธ์ของวัตถุจากการทำ Dilation



ภาพที่ 17 ผลลัพธ์ของรูในวัตถุจากการทำ Dilation

เทคนิค Pattern recognition

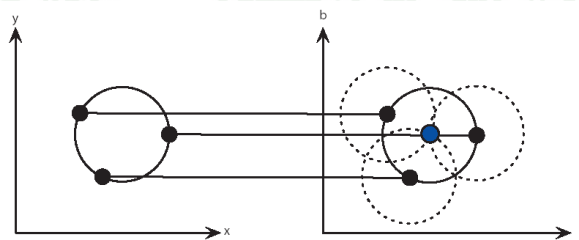
เป็นเทคนิคสำหรับใช้ต่อยอดการประมวลผลภาพ เพื่อจดจำแยกแยะหรือเรียนรู้ลักษณะวัตถุที่ต้องการศึกษาเพื่อจุดประสงค์บางประการ เช่น คัดคุณภาพ ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม หรือประโยชน์ด้านอื่นๆ ทางด้านการเกษตรโดยส่วนใหญ่การประมวลผลด้วยภาพมักใช้เพื่อการตัดแยก เช่น การคัดขนาดผลไม้ การคัดคุณภาพของผักและผลไม้ การคัด สีของผักผลไม้ เป็นต้น อัลกอริทึม ที่ใช้ในการประมวลผลก็มีหลายวิธีการขึ้นอยู่กับแต่ละประเภทและความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

1. เทคนิค Hough transforms

คือ วิธีการหนึ่งที่สามารถใช้อธิบายและแสดงคุณลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ต้องการทราบรายละเอียดได้ แบ่งเป็น Line ใช้หาส่วนที่เป็นเส้นตรงภายในภาพ Circular ใช้หาส่วนที่เป็นวงกลมภายในภาพ โดยกำหนดจุดที่ขอบของวัตถุในภาพให้เป็นจุดอ้างอิงของวงกลมเสมือนแล้วสร้างวงกลมรัศมีเท่ากับ R ขึ้นรอบๆจุดขอบที่ใช้เป็นจุดอ้างอิง โดยมีมุม 360 องศา ระยะเส้นขอบของวงกลมเสมือนหรือพิกัดตามแนวระนาบ ที่เกิดขึ้นใหม่ดังภาพที่ 18 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังสมการที่ 10

$$\begin{aligned}x_n &= a + R \cos \theta \\y_n &= b + R \sin \theta\end{aligned}\quad \dots (10)$$

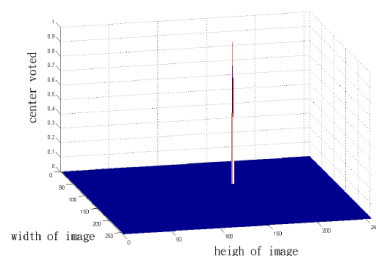
เมื่อ x_n และ y_n คือ Coordinate ของ Locus ขณะ θ กวาดไปรอบๆจุดศูนย์กลางหรือ 0 ถึง 359 องศา จุดขอบวัตถุที่ใช้เป็นจุดอ้างอิง
 a และ b คือ จุดศูนย์กลางจำลองบนเส้นขอบของวัตถุ ณ. จุดใดๆ
 R คือ ขนาดรัศมีของวงกลมเสมือนที่สร้างรอบของจุดอ้างอิงบนขอบวัตถุ



ภาพที่ 18 การวาดวงกลมเสมือนลงบนขอบของวงกลมจริงเพื่อหาศูนย์กลางของวงกลม

ที่มา: Pedersen (2007)

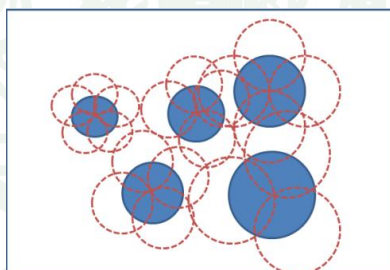
เมื่อวงกลมเสมือนมีรัศมีเท่ากับรัศมีของวัตถุพอดีจุด Locus ที่เกิดขึ้นจะเกิดและซ้อนทับกัน มากที่สุดตรงจุดศูนย์กลางของวัตถุดังแสดงในภาพที่ 18 และในวิธีของ Circular Hough transform (CHT) มี Accumulator เข้ามาช่วยเพื่อเก็บค่า locus ต่างๆที่เกิดขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการเรียกใช้ วิเคราะห์และเปรียบเทียบกันในภายหลัง Accumulator กรณีหาส่วนของวงกลมในภาพมากกว่า 1 วัตถุจำเป็นต้องใช้ array 3 มิติเพราะว่านอกจากจะเก็บค่า locus ต่างๆแล้วยังจำเป็นต้องเก็บค่าของ รัศมีที่ใช้ในการคำนวณแต่ละครั้งด้วย เนื่องจากการหาขนาดวัตถุเราไม่สามารถรู้ขนาดของวัตถุล่วงหน้าได้ทำให้ต้องสุ่มค่ารัศมีขึ้นมาแล้วค่อยพล็อตค่าเรื่อยๆ จนกระทั่งใน Accumulator ปรากฏค่า locus ที่ซ้อนทับกันมากๆ แสดงในภาพที่ 19 จึงหยุดเพิ่มค่ารัศมีเพราะจุดที่ซ้อนทับกันมากๆใน Accumulator น่าจะเป็นจุดศูนย์กลางของวัตถุจริง



ภาพที่ 19 จุดซ้อนทับที่มากที่สุดของรัศมีวงกลมเสมือนที่วาดลงบนวงกลมจริง

2. การกรองหาจุดศูนย์กลางที่แท้จริงของลำใยแต่ละลูก

โดยแท้จริงแล้วลำใยแต่ละช่อจะมีจำนวนลูกที่มากกว่าหนึ่งผลและขนาดของลำใยก็มากกว่าหนึ่งค่า ดังนั้นการใช้ CHT เพื่อหาจุดศูนย์กลางของวงกลมที่มีจำนวนมากกว่าหนึ่งค่าในหนึ่งภาพจึงจำเป็นต้องมีการแยกแยะ locus ที่เกิดขึ้นอย่างมากมายจากการสุ่มวาดวงกลมเสมือนที่มีรัศมี R หน่วยอย่างละเอียด ค่าจุดศูนย์กลางของวงกลมจากการหาด้วยวิธี CHT ที่ได้ก็ต้องมีมากกว่าหนึ่งค่าหรือบางทีอาจจะมีจำนวนมากกว่าจำนวนลำใยบนช่ออีกด้วยดังแสดงในภาพที่ 20 การกรองจึงต้องมีขั้นตอนหรือลำดับการกรองที่ละเอียดมากขึ้น เพื่อค่อยๆลดจำนวนค่าจุดศูนย์กลางที่ปลอมปนมาออกทีละขั้น



ภาพที่ 20 locus ที่เกิดจากการวาดวงกลมเสมือนที่วาดลงบนวงกลมจริง

ลำดับขั้นตอนในการกรองแสดงในภาพที่ 21 ถูกแบ่งเป็น 5 ระดับ โดยเริ่มจากการกรองแบบหยาบในระดับที่ 1 และละเอียดที่สุดในขั้นที่ 5 เพื่อหาจุดศูนย์กลางจริง โดยเริ่มจากวงกลมเสมือนที่มีรัศมี R วาดลงบนขอบของวัตถุในภาพ ค่า Locus ที่วาดลงบนภาพนั้นๆจะถูกเก็บในอะเรย์แบบแมตริกซ์ในรูปแบบของค่า Co-ordinate ในขั้นที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 22 ซึ่งเป็นตัวอย่างของ อะเรย์ขนาด 15x15 พิกเซล ที่สร้างขึ้นเพื่อเก็บค่า locus

Level5 fruits filter
Level4 neighbor filter
Level3 mean filter
Level2 maximum filter
Level1 raw data

ภาพที่ 21 ลำดับขั้นตอนในการกรองจุดศูนย์กลาง

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2	2	4	5	7	2	1	2	1	2	0	1	0	0
0	3	9	5	4	6	3	4	5	2	2	1	3	0	0
0	3	8	11	6	5	2	3	2	2	2	3	5	1	0
0	5	6	30	7	6	3	2	2	2	2	4	6	1	0
0	2	10	22	12	7	4	3	5	2	5	2	4	1	0
0	2	4	4	5	2	7	4	5	12	12	21	3	1	0
0	3	4	6	7	9	8	2	6	11	33	15	2	2	0
0	2	3	3	6	12	6	1	5	9	30	12	4	3	0
0	1	3	3	23	8	7	5	4	6	3	11	1	9	0
0	4	4	16	34	14	8	4	3	3	4	4	4	8	0
0	1	10	2	11	32	8	4	3	1	3	5	6	8	0
0	2	8	1	2	3	2	3	2	4	3	2	8	4	0
0	1	6	1	1	1	1	1	1	2	1	1	9	5	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 22 ค่า Locus ในอะเรย์ขนาด 15x15 พิกเซล

ในอะเรย์ขนาด 15x15 พิกเซลประกอบไปด้วยค่า Locus ต่างๆมากมายตั้งแต่ค่าน้อยไปจน ถึงค่ามากพิกเซลที่ถูกแรเงาคือพิกเซลที่มีค่า Locus มีความเด่นชัดซึ่งน่าจะเป็นตัวแทนของจุดศูนย์กลาง ของวงกลมเป้าหมายโดยที่พิกเซลเหล่านี้จะอยู่รวมๆกับพิกเซลทั่วไปทำให้มีข้อมูลมากเกินไปจึง จำ เป็นต้องตัดพิกเซลที่มีค่าของ Locus น้อยๆออกไปด้วยวิธีการกรองในขั้นที่ 2 ซึ่งใช้ค่า maximum เป็นค่าอ้างอิงในการขจัดค่าที่น้อยออกไปได้ผลลัพธ์ดังในภาพที่ 23

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0
0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	3	5	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 23 ค่า Locus ในอะเรย์ขนาด 15x15 พิกเซลหลังจากผ่านการกรองขั้นที่ 2

การคำนวณค่า maximum สามารถกำหนดระดับความเข้มได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการทดลองและการนำไปประยุกต์ใช้งาน จากภาพตัวอย่างได้ใช้ค่า 0.6 ของ maximum ซึ่งจะได้ค่า ประมาณ 20 ดังนั้นเมื่อค่า locus ในพิกเซลใดมีค่าสะสมต่ำกว่า 20 จะไม่นับว่าเป็นตัวแทนของศูนย์ กลางวงกลมและแทนค่าในพิกเซลเหล่านั้นให้เป็น 0 จึงเห็นได้ว่าจำนวนค่า locus ที่เหลือถูกลดจำนวนลงอย่างมากดังแสดงในภาพที่ 24 การกำหนดค่าระดับความเข้มของ maximum นั้นถ้ากำหนดค่าที่มากเกินไป จะทำให้จำนวนค่า locus เหลือน้อยหรือบางครั้งอาจทำให้ข้อมูลถูกตัดมากเกินไปแต่ถ้ากำหนดค่า น้อยเกินไปแล้วจะทำให้ค่า locus มีมากเกินไปทำให้การแยกแยะทำได้ยากและช้า

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	3	5	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 24 ค่า Locus ในอะเรย์ขนาด 15x15 พิกเซลหลังจากผ่านการกรองขั้นที่ 3

การกรองในขั้นที่ 2 ยังคงเหลือค่า locus ที่น่าจะเป็นจุดศูนย์กลางวงกลมอยู่ ซึ่งค่าที่เหลือดังกล่าวมักจะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ดังนั้นวิธีขจัดค่าให้ลดลงสามารถทำได้โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยหรือ mean ซึ่งเป็นการกรองขั้นที่ 3 การคำนวณค่าของ mean สามารถคำนวณได้จากการนำค่า locus ที่เหลืออยู่มาเฉลี่ย จากภาพที่ 23 พบว่าเมื่อนำค่า locus มาเฉลี่ยแล้วจะได้ค่าประมาณ 23 ดังนั้นค่า locus ในพิกเซลใดๆที่มีค่าต่ำกว่า 23 ก็จะถูกขจัดและทำให้ค่าในพิกเซลนั้นกลายเป็นค่า 0 ผลลัพธ์จะได้ดังภาพที่ 24 ซึ่งสามารถลดค่า locus ได้อีกจำนวนหนึ่งแต่ก็ยังไม่สามารถลดจนเหลือตัวแทนของจุดศูนย์กลางได้จึงจำเป็นต้องใช้การกรองขั้นที่ 4 ที่ใช้วิธี neighbor-connection ขนาด 4x4 พิกเซลเข้ามาช่วยกรองค่า locus ที่อยู่ติดกัน โดยในพิกเซลขนาด 4x4 จะเลือกค่าที่มากกว่าไว้และขจัดค่าที่น้อยกว่าให้เป็น 0 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในภาพที่ 25

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 25 ค่า Locus ในอะเรย์ขนาด 15x15 พิกเซลหลังจากผ่านการกรองขั้นที่ 4

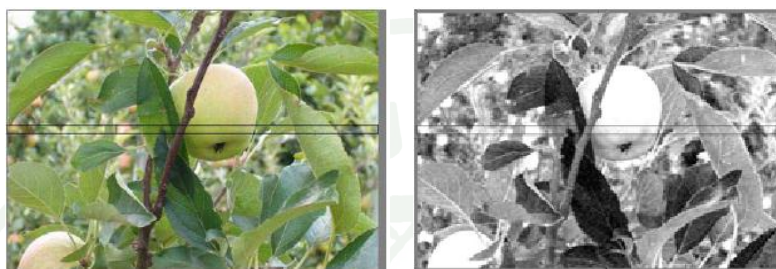
เมื่อเหลือตัวแทนที่เป็นจุดศูนย์กลางแล้ว ในการกรองขั้นที่ 5 จะใช้ตำแหน่งพิกเซลที่มีค่า locus เหลืออยู่เป็นตำแหน่งอ้างอิงเพื่อตรวจสอบกับภาพสีว่า ณ ตำแหน่งพิกเซลนั้นมีค่าสีใกล้เคียงกับภาพเป้าหมายหรือไม่ โดยวาดวงกลมรอบจุดดังกล่าว ขนาดวงกลมมีรัศมี R หน่วย แล้วตรวจสอบค่าสีในพื้นที่ของวงกลมนั้น ถ้าค่าสีส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับค่าสีเป้าหมายก็ให้ถือว่าเป็นวัตถุที่ถูกต้อง ตัวอย่างเช่น ผลลำไยจะมีโทนสีแดงส่วนใบจะมีโทนสีเขียวซึ่งเป็นสีที่แสดงคุณลักษณะเฉพาะวัตถุนั้น ถ้าพิกเซลภายในพื้นที่ของวงกลมที่วาดครอบลงไปมีค่าสีใกล้เคียงกับสีแดงก็สามารถถือได้ว่าเป็นตัวแทนของศูนย์กลางและของลำไย แต่ถ้ามีค่าสีที่ไม่ใกล้เคียงกับสีแดงก็ถือว่าไม่ใช่ส่วนของลำไย อาจเกิดการสะสมค่า locus ที่ผิดพลาดหรือเกิดจากขอบของวัตถุส่วนอื่น จำพวกใบหรือกิ่งก็ให้ ละเว้นได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพในงานเกษตร

การวัดเชิงไฟฟ้าเริ่มมีส่วนสำคัญอย่างมากในกระบวนการประเมินคุณภาพวัสดุเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว เพราะมีทั้งความรวดเร็วในการประเมินผล ความถูกต้องในการวัดสูง อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นตรวจประเมิน สี รูปร่าง ความแน่นเนื้อ ความสุก-แก่ของวัสดุ และอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ล้วนแล้วแต่มีผลต่อมูลค่าทางการตลาดเป็นอย่างมาก (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551) การใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพก็เป็นการวัดเชิงไฟฟ้าวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน ทั้งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวและกระบวนการอื่นที่นอกเหนือจากการเกษตร ตัวอย่างการใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพในงานเกษตรมีดังต่อไปนี้

Zhao และคณะ (2005) ได้ศึกษาการออกแบบวิธีการเก็บผลแอปเปิ้ลจากต้นในสวนผลไม้ด้วยรถเก็บโดยใช้วิธีการประมวลผลด้วยภาพ เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพได้ประยุกต์ใช้ค่า redness เพื่อค้นหาผลแอปเปิ้ลจากต้น Zhao ได้แบ่งเงื่อนไขของภาพออกเป็น 2 เงื่อนไข คือภาพที่มี

องค์ประกอบไม่ซับซ้อนกับภาพที่มีองค์ประกอบซับซ้อน เงื่อนไขแรกสามารถใช้วิธีการหาค่า redness เพื่อค้นหาตำแหน่งของผลแอปเปิ้ลได้ดังแสดงในภาพที่ 26 การหาค่า redness จะทำให้ระดับสี ของภาพเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 255 กล่าวคือค่าของ redness ทำให้ส่วนของภาพที่มีสีแดงเป็นส่วนประกอบ จะเป็นสีขาวหรือระดับ 255 ส่วนสีที่เป็นตรงข้ามจะกลายเป็นสีดำหรือ 0 แทน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 26 (ก) ภาพแอปเปิ้ลต้นฉบับ (ข) และภาพหลังจากการหาค่า redness

ที่มา: Zhao (2005)

เงื่อนไขที่สองเนื่องจากองค์ประกอบภาพที่ซับซ้อนทำให้ต้องมีการขจัดภาพ โดยใช้การกรองแบบ laplacian ซึ่งเป็นตัวกรองแบบ 2^{nd} order ทำให้ขอบของภาพมีความเด่นชัดมากขึ้นส่งผลให้ขอบของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ในภาพนูนหรือเด่นขึ้นมา ส่วนวัตถุขนาดเล็กจะมีขอบที่เด่นเช่นกันแต่เนื่องจากวัตถุขนาดเล็กทำให้ขอบที่ปรากฏขึ้นมีลักษณะเป็นภาพแตก ขรุขระ สามารถมองเป็นภาพเบลอได้ดังแสดงในภาพที่ 27 จากนั้นใช้เทคนิคการหาค่า redness ของภาพก็จะได้ผลดังภาพที่ 28



(ก)

(ข)

ภาพที่ 27 (ก) ภาพแอปเปิ้ลต้นฉบับ (ข) และภาพหลังใช้ตัวกรองแบบ laplacian

ที่มา: Zhao (2005)



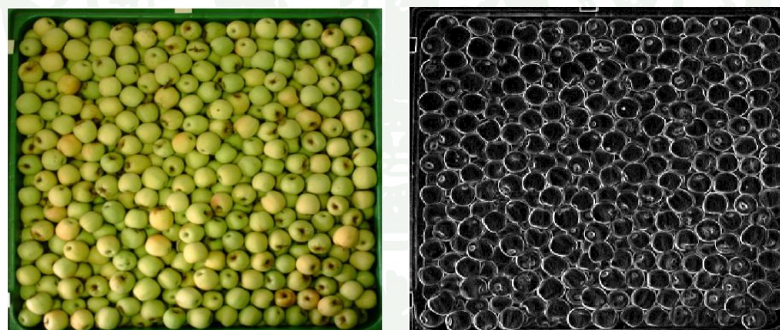
(ก)

(ข)

ภาพที่ 28 (ก) ภาพค่า redness กรณีไม่ใช้ตัวกรอง (ข) และภาพค่า redness กรณีใช้ตัวกรอง

ที่มา: Zhao (2005)

Vaysse และคณะ (2005) ได้หาวิธีการคัดขนาดแอปเปิ้ลจากตะกร้าขนส่งดังแสดงในภาพ ที่ 29 (ซ้าย) เพื่อตรวจสอบขนาดผลที่ถูกต้องด้วยวิธีการประมวลด้วยภาพ การถ่ายภาพใช้กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลยี่ห้อ Canon รุ่น EOS 10D ถ่ายภาพในแนวตั้งให้กล้องอยู่กึ่งกลางตะกร้าสูงขึ้นไปเหนือตะกร้า 2 เมตร แล้วคำนวณหาค่า Magnitude ของ Gradient ได้ดังภาพที่ 29 (ขวา)



(ก)

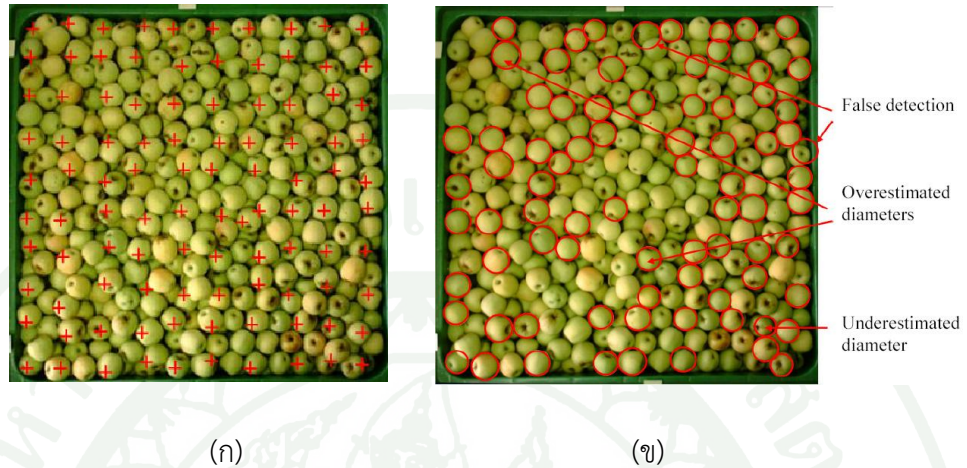
(ข)

ภาพที่ 29 (ก) ภาพแอปเปิ้ลในตะกร้า (ข) และภาพ gradient magnitude ของแอปเปิ้ล

ที่มา: Vaysse (2005)

ภาพถ่ายของแอปเปิ้ลในตะกร้าจะถูกสร้างกริดไว้ประมาณ 100 จุดแต่ละจุดห่างกัน 100 pixel และถูกสมมติให้เป็นตัวแทนของผลไม้ทั้งตะกร้า จากนั้นเลื่อนกริดแต่ละจุดไปยังตำแหน่งที่ค่า gradient magnitude สูงสุดที่อยู่ภายในบริเวณเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 30 ซ้าย ตำแหน่งของกริด

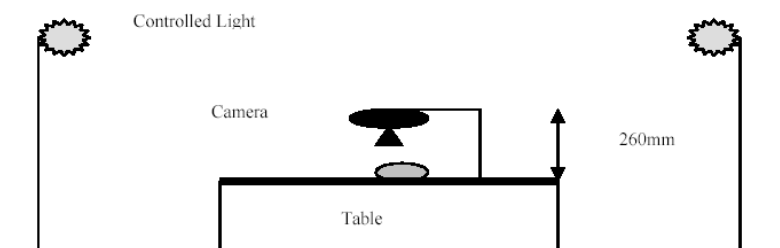
แต่ละจุดจะถูกวาดวงกลมขนาดตั้งแต่ 30-42 pixel ครอบลงไปเพื่อประเมินขนาดของแอปเปิ้ลใน
ตะกร้าดังภาพที่ 30 ขวา



ภาพที่ 30 (ก) กริดบริเวณที่ค่า gradient magnitude สูงสุดในแต่ละบริเวณ (ข) และการประเมิน
ขนาดของแอปเปิ้ล

ที่มา: Vaysse (2005)

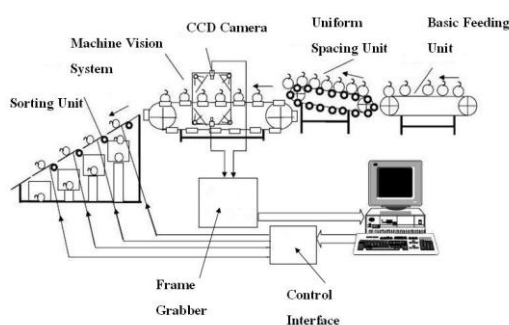
Choong และคณะ (2006) ได้ออกแบบระบบการคัดหาระดับความสุกของผลปาล์มโดยผล
ปาล์มที่เก็บเกี่ยวได้จะมีอยู่ 3 กลุ่มคือ สุกพอดี ดิบ และ แก่ ระบบตรวจสอบได้ถูกออกแบบให้ อยู่
ภายในห้องที่ต้องควบคุมระดับความเข้มแสง และใช้กล้องถ่ายภาพแบบ ดิจิตอลยี่ห้อ Kodak
รุ่น Cx4200 ขนาด 2 ล้านพิกเซล ดังภาพที่ 31 ภาพถ่ายที่ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ผลโดยดูค่าของย่านสี
จากค่าแม่สีที่อ่านได้จากภาพถ่าย คือ แดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) ผลที่ได้คือย่านสีแดง ให้ค่า
R2 เท่ากับกับ 0.86 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดจาก 3 ย่าน



ภาพที่ 31 ระบบการคัดความสุกของผลปาล์ม

ที่มา: Choong (2006)

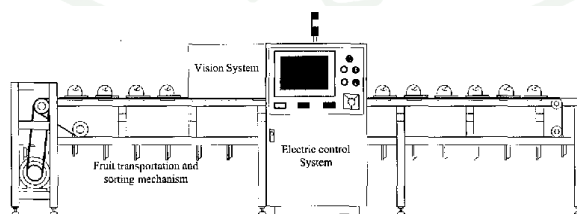
Qingzhong และคณะ (2002) ได้คิดระบบการตรวจสอบตำหนิบนผิวของผลแอปเปิ้ล บนระบบสายพานลำเลียงด้วยการประมวลผลด้วยภาพ ภาพที่ 32 โดยใช้กล้องทั้งหมดสองจุดรวมกับกระจกสะท้อนภาพ ในการถ่ายภาพประมวลผลภาพที่ได้จะแบ่งเป็นภาพผลแอปเปิ้ลในส่วนบนและผลแอปเปิ้ลในส่วนล่างซึ่งในแต่ละส่วนจะได้รูปผลแอปเปิ้ล 3 รูป รวมสองด้านเป็น 6 รูป ภาพที่ได้จะถูกส่งผ่านการ์ดรับภาพไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล โดยใช้วิธีระบบรู้จำคือ นำการประมวลผลที่ได้ไปทำการเทียบกับข้อมูลที่ได้จัดทำเป็นไลบรารีไว้ก่อนหน้านี้ ผลการทดสอบได้ความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ



ภาพที่ 32 ระบบการตรวจสอบคุณภาพของแอปเปิ้ลด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพ

ที่มา: Qingzhong (2002)

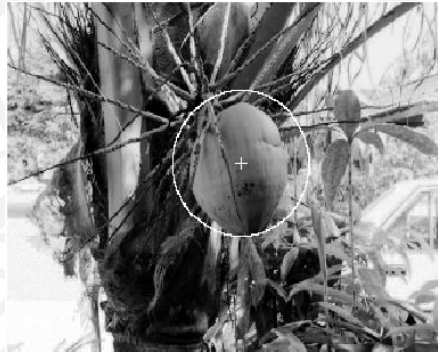
Feng และ Qixin (2004) ได้ศึกษาออกแบบระบบคัดแยกโดยใช้ภาพถ่ายแบบ อัตโนมัตินี้ที่มีความเร็วในการคัดแยกสูง ระบบถูกออกแบบให้มี 3 ส่วน คือระบบควบคุม ด้วยไฟฟ้า ระบบตรวจจับภาพและระบบขนส่งดังภาพที่ 33 การทำงานอาศัยระบบขนส่งทำหน้าที่ลำเลียงผลไม้ ซึ่งวางมาบนถาดเข้าสู่ส่วนที่ทำหน้าจับภาพและจะถ่ายภาพเก็บเอาไว้ โดยการทำงานในส่วนนี้ ประกอบไปด้วยกล้องควบคุมแสง ภายในจะมีการกำหนดจุดติดตั้งหลอดไฟเพื่อให้เกิดเงาบนภาพถ่าย ให้น้อยที่สุด ใช้กล้องแบบ CCD ทั้งหมด 3 ตัวในการจับภาพ เพื่อให้ได้รายละเอียดภาพมากที่สุด จากนั้นวิเคราะห์ผลพร้อมคัดแยกด้วยส่วนควบคุมด้วยไฟฟ้า ระบบนี้ได้ทดลองคัดแยกแอปเปิ้ลพันธุ์ Fuji สามารถให้ความถูกต้องในการคัดได้ 90 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 33 ระบบเครื่องคัดแยกผลไม้ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพ

ที่มา: Feng และ Qixin (2004)

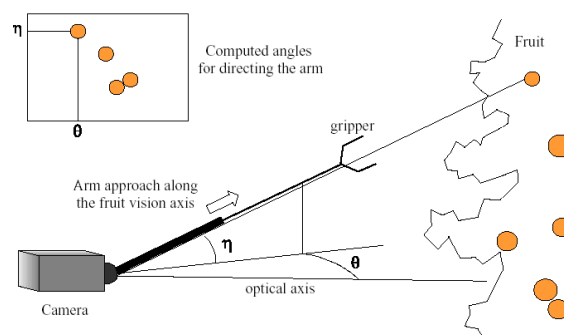
Rizon และคณะ (2005) ได้พัฒนาระบบค้นหาและรู้จำเพื่อตรวจสอบ ผลมะพร้าวบนต้นโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Circular Hough Transform (CHT) โดยเทคนิคดังกล่าว สามารถช่วยค้นหาผลมะพร้าวบนต้นได้อย่างรวดเร็ว หลักการทำงานอาศัยภาพถ่ายขนาด 320x240 pixel ที่ผ่านกระบวนการ Image preprocessing และ Image segmentation ก่อนใช้เทคนิค CHT เพื่อค้นหาและระบุผลมะพร้าวดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ผลการค้นหามะพร้าวบนต้นด้วยเทคนิค CHT

ที่มา: Rizon (2005)

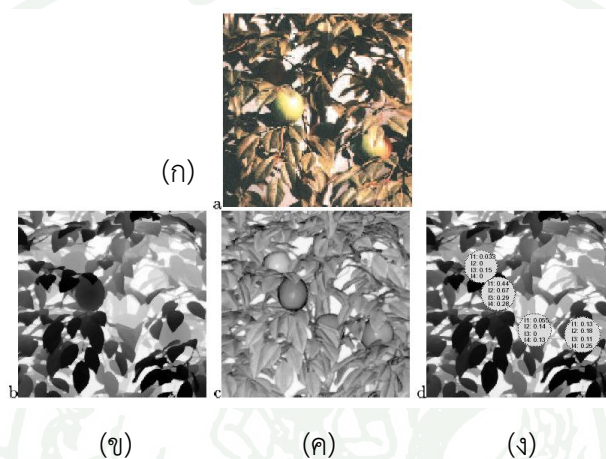
Jimenez และคณะ (1999) ได้ออกแบบระบบตรวจสอบผลไม้จากต้น โดยใช้ CCD เซนเซอร์ถ่ายภาพผลไม้จากต้น แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อแยกผลไม้กับต้นไม้ออกจากกัน แสดงในรูปที่ 35 แล้วพิจารณาการเจริญเติบโตของผลไม้ ระบบนี้จะนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์หารูปร่างหรือหาลักษณะเฉพาะเพื่อค้นหาตำแหน่งผลไม้บนต้น



ภาพที่ 35 ระบบการถ่ายภาพผลไม้จากต้น

ที่มา: Jimenez (1999)

การพิจารณาจะดูจากความเข้มและสีที่ปรากฏบนพิกเซลในรูปภาพซึ่งจะให้ความเข้มและสีที่ต่างกันระหว่างผลไม้กับต้นไม้ แสดงในรูปที่ 36 นอกจากนั้นยังมีรูปร่างที่ต่างกันอีก การทดสอบได้ สอบกับผลส้มรวมทั้งหมด 50 ภาพ 673 ผล ให้ความถูกต้องในการตรวจพบ 85% แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบการทำงานร่วมกับตัวเก็บผลไม้แล้วยังไม่สามารถเก็บผลได้เป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะความ เจริญเติบโตที่ยังไม่สามารถระบุได้ตึ้นัก ถ้าผลไม้มีความเจริญเติบโตอยู่ที่ 40 – 100 % ความเร็วใน การคัดแยกอยู่ที่ 20 – 60 วินาทีต่อภาพที่มีขนาด 50 x 50 เซนติเมตร



รูปที่ 36 ภาพจากการประมวลผลแบ่งเป็น A คือ ภาพถ่ายปกติ B คือภาพขอบขอบผลไม้ C คือภาพ สะท้อนของผลไม้ D คือผลไม้ที่ตรวจพบ

ที่มา: Jimenez (1999)

นอกจากนี้แล้วงานวิจัยเกี่ยวข้องกับทางการคัดแยกยังมีของ Slaughter และ Hanel (1989) ได้พัฒนาโมเดลของการคัดแยกที่ใช้เพียงข้อมูลทางด้านสี ที่ได้จากภาพถ่ายสีดิจิทัลเพื่อคัด แยกผลส้มจากสถานะแวดล้อมทางธรรมชาติของต้นส้ม โมเดลของการตัดสินใจถูกทำให้ง่ายพอที่จะใช้ งานแบบ Real-time ได้ ตัวคัดเลือกแบบ Bayesian สามารถคัดแยกได้อย่างถูกต้องมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลแนะนำให้กับโรบอทเพื่อจัดการต่อไป

Whittaker และคณะ (1987) ได้ใช้ CHT เพื่อระบุตำแหน่งของผลมะเขือเทศในภาพถ่ายที่ อยู่ภายใต้เงื่อนไขสถานะแวดล้อมในแปลงธรรมชาติ การใช้ CHT ทำให้สามารถหาผลมะเขือเทศได้ ตามลักษณะรูปร่างแม้จะอยู่ในสถานะที่สับสนมากก็ตาม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กล้อง Charge coupled device (CCD) ยี่ห้อ SANYO รุ่น VCC-4795PE
2. คอมพิวเตอร์ รุ่น AMD Samtron 2.4 GHz Ram 768 Mb/400 MHz Card VGA GeForce 4 64 Mb HDD Samsung 80 Gb
3. การ์ด TV (Frame Grabber) รุ่น FlyTV-34FM Tuner PCI ยี่ห้อ LifeView
4. ลำโพงคู่ พินจุดอ เบี้ยวเขียว และแฉ่ว
5. ชุดปรับ-ควบคุมระดับแสง (หลอดประหยัดพลังงาน ยี่ห้อ PHILIPS รุ่น Essential 14W CDL E27 220-240V)
6. เวอร์เนียร์คาร์ลิบเปอร์ แบบ Digital ยี่ห้อ Soya

วิธีการ

การออกแบบระบบและหลักการทำงาน

การออกแบบระบบแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ (ภาพที่ 37) และ การออกแบบด้านซอฟต์แวร์ (ภาพที่ 40) ด้านฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย ระบบควบคุม-ปรับระดับแสง คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ผล และ ระบบตรวจจับภาพแบบ CCD ทางด้านซอฟต์แวร์ประกอบด้วย อัลกอริทึม (Algorithm) ในการคิดค้นหาและประเมินขนาดโดยอาศัยเทคนิค CHT

1. ระบบควบคุมแสงสว่างและการถ่ายภาพประกอบด้วย

1.1 หลอดไฟและโคมส่องสว่าง ใช้หลอดฟลูออโรเรสเซนต์ประหยัดไฟซึ่งหาได้ง่ายตามท้องตลาด เป็นหลอดที่ไม่เกิดความร้อนมากนักขณะใช้งาน สามารถเลือกสีของแสงไฟได้ ติดตั้งกับโคมส่องสว่างเพื่อช่วยกระจายลำแสงไปยังผนังซึ่งถูกคลุมด้วยผ้าขาวบาง เพื่อให้เกิดแสงนวลขึ้นภายในกล่องควบคุมแสงหรือคล้ายกับการเรืองแสง ซึ่งจะทำให้แสงจะไม่รวมตัวที่จุดใดจุดหนึ่ง แต่จะกระจายตัว การฉายไฟจะฉายมาจากทั้งสามด้าน คือ บน ซ้าย และขวาเพื่อทำให้เกิดเงาที่น้อยที่สุด

1.2 ผ้าขาวบาง ทำหน้าที่ช่วยกระจายแสงภายในกล่องควบคุมแสง เมื่อมีแสงไฟส่องมาจากด้านนอก นอกจากจะป้องกันแสงไปกระทบยังเป้าหมายโดยตรงซึ่งจะทำให้เกิดเป็นรอยด้านหรือวาวแสงแล้ว ยังทำให้ด้านในเกิดการเรืองแสงขึ้น ซึ่งเป็นแสงที่นวล ความสว่างจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่า

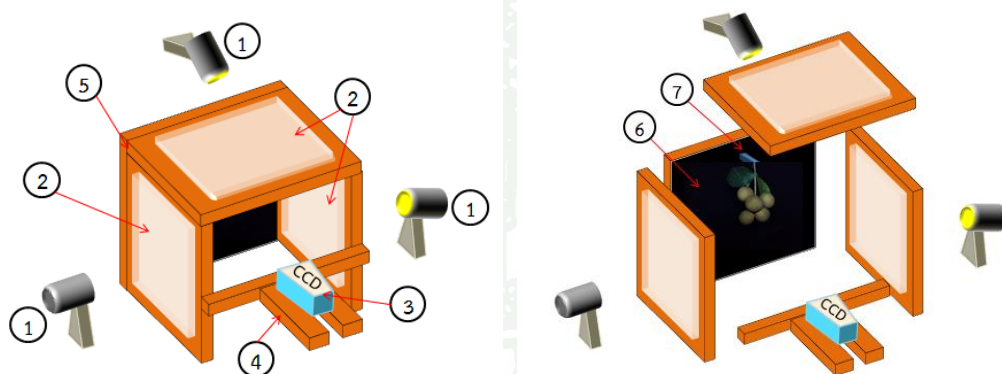
1.3 กล้อง CCD จะเชื่อมต่อกับระบบประมวลผล คือ คอมพิวเตอร์และการ์ดแปลงสัญญาณ ทำหน้าที่ถ่ายภาพเป้าหมายแล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ประมวลผล

1.4 แท่นยึดกล้อง ทำหน้าที่ยึดกล้องให้นิ่งขณะถ่ายภาพ สามารถปรับระยะได้ตั้งแต่ 35-50 เซนติเมตร

1.5 กล่องควบคุมแสง โครงสร้างทำมาจากไม้ ด้านหลังทึบแสง ด้านข้างและด้านบนเจาะไว้ให้โปร่งแสงแล้วใช้ผ้าขาวบางคลุม ซึ่งจะเป็นด้านที่รับแสงจากภายนอกเข้ามา ด้านหน้าออกแบบให้ติดตั้งตัวกล้องเพื่อใช้ในการถ่ายภาพ

1.6 ฉากหลังพื้นสีดำ เพื่อควบคุมสิ่งรบกวนของภาพถ่าย (noise) ให้น้อยที่สุด จะทำให้การประมวลผลทำได้เร็วขึ้น

1.7 ที่แขวนช้อล่าย ยื่นออกมาจากฉากหลังประมาณ 5 เซนติเมตร เพื่อเว้นระยะไม่ให้ช้อล่ายไปชนกับฉากหลัง



ภาพที่ 37 ระบบควบคุมแสงสว่างและอุปกรณ์การถ่ายภาพ (1) หลอดไฟและโคมส่องสว่าง (2) ผ้าขาวบาง (3) กล้อง CCD (4) แท่นยึดกล้องปรับระยะได้ (5) กล่องควบคุมแสง (6) ฉากหลังสีดำ (7) ที่แขวนช้อล่าย

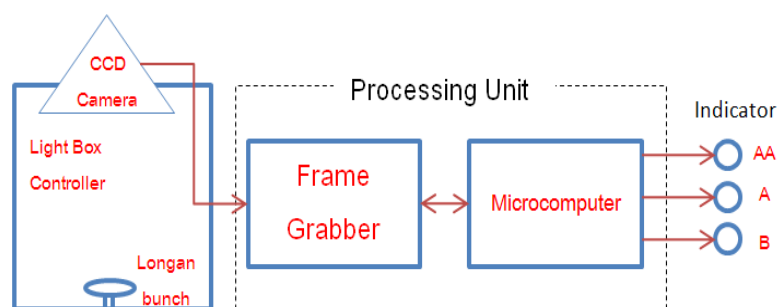
2. หลักการทำงานด้านฮาร์ดแวร์

การทำงานของระบบเริ่มต้นโดยอาศัยกล้อง CCD (VCC-4795PE, SANYO) ที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของกล่องควบคุมแสงโดยมีระยะห่างจากฉากหลังของกล่อง 35-50 เซนติเมตร ตัวกล้อง CCD มีความละเอียดที่ 540 TV Line ตามแนวนอน และด้านข้างของกล่องควบคุมแสงมีการติดตั้งหลอดประหยัดไฟขนาด 14W (Essential 14W CDL E27 220-240V 1CT, PHILIPS) ด้านข้างของกล่องควบคุมแสงถูกหุ้มด้วยผ้าขาวเพื่อทำหน้าที่ในการกระจายแสง ให้แสงภายในกล่องมีความ

สม่ำเสมอ ไม่สว่างจ้าเกินไป ส่วนฉากหลังภายในกล่องควบคุมแสงจะใช้ฉากที่เป็นสีดำเพื่อลดสิ่งรบกวน ซอหลำไยที่ถูกแขวนอยู่ในกล่องถูกถ่ายภาพด้วยกล้อง CCD (ภาพที่ 38) จากนั้นสัญญาณภาพที่ได้จากกล้อง CCD จะถูกแปลงสัญญาณดิจิทัลด้วยการ์ดแปลงสัญญาณ (FlyTV-34FM Tuner PCI, LifeView) ซึ่งติดตั้งการ์ดไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ก่อนส่งภาพต่อไปยังตัวประมวลผลเพื่อประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Image J และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจาก Borland C++ Builder 5.0 ด้วยคอมพิวเตอร์ประมวลผล (AMD Sempron 2200+ Processor with a clock speed of 1.8 GHz and 768MB Ram with a clock speed of 400MHz) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงเป็นตำแหน่งและขนาดของผลลำไยในช่อ จากนั้นจะนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปประเมินด้านขนาดเพื่อระบุขนาดของช่อลำไยนั้นๆ พร้อมแสดงผลการประเมินผ่านตัวแสดงผล หลักการทำงานแสดงดังในภาพที่ 39



ภาพที่ 38 ซอหลำไย

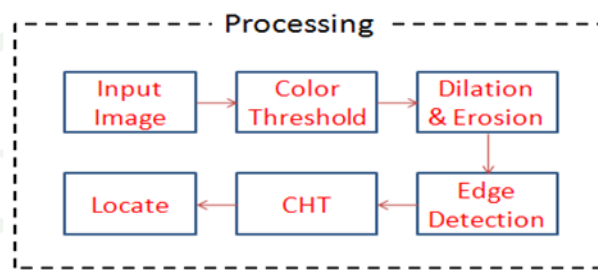


ภาพที่ 39 ระบบทางด้านฮาร์ดแวร์

3. หลักการทำงานด้านซอฟต์แวร์

การประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาตำแหน่งและขนาดของผลลำไย จะใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นด้วย Borland C++ Builder 5.0 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังภาพที่ 40 เริ่มต้นด้วยการนำภาพถ่ายจากกระบวนการถ่ายภาพด้วยกล้อง CCD มาปรับขนาดให้เหมาะสมกับการประมวลผลคือมีขนาด 640 x 480 พิกเซลที่ความละเอียด 96 dpi จากนั้นนำภาพไปผ่าน

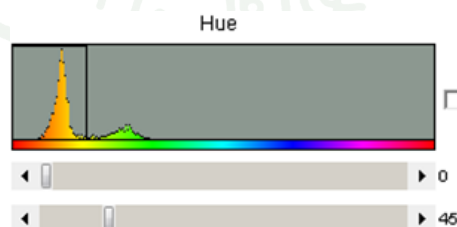
กระบวนการกรองสิ่งรบกวนภายในภาพเพื่อคัดกรองให้เหลือแต่เฉพาะผลลำไยด้วยวิธี Image Color Threshold ภาพที่ได้ยังคงมีส่วนที่ไม่ใช่ลำไยปรากฏเหลืออยู่บ้าง เช่น กิ่งและใบ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการเซาะ-ขยายเพื่อลบสิ่งรบกวนในภาพอีกครั้งเพื่อลดสิ่งรบกวนออกให้มากที่สุด จากนั้นเข้าสู่กระบวนการหาขอบเพื่อลดขนาดข้อมูลให้เหลือเฉพาะส่วนที่สำคัญด้วยวิธีของ Canny Edge Detection จากนั้นใช้ CHT เพื่อหาศูนย์กลางและขนาดของลำไยในข้อ หลักการทำงานแสดงดังภาพที่ 40



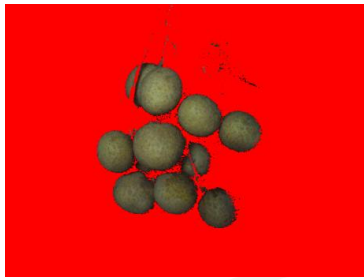
ภาพที่ 40 ระบบทางด้านซอฟต์แวร์

3.1 การกรองสิ่งรบกวนในภาพ

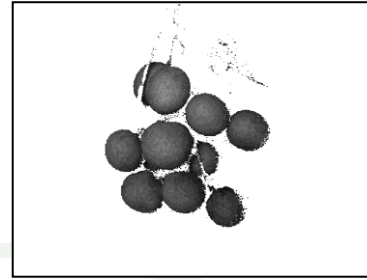
สิ่งรบกวนในภาพในที่นี้หมายถึงส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น ใบ กิ่ง หรือส่วนอื่นที่ไม่ใช่ผลของลำไย การกรองภาพในส่วนนี้จะอาศัยความแตกต่างของสีของแต่ละองค์ประกอบ เช่น ผลลำไยจะมีสีน้ำตาลอมแดง ใบจะมีสีเขียว ก้านหรือกิ่งจะมีสีน้ำตาลเข้ม ดังภาพที่ 38 ความแตกต่างของค่านี้ใช้หลักการสังเกตคล้ายกับการมองของตาคน ซึ่งสอดคล้องกับการใช้โมเดลสีแบบ HSB หรือ Hue Saturation และ Brightness การกรองสิ่งรบกวนสามารถใช้องค์ประกอบของ Hue ในการเลือกหรือตัดเฉดสีที่ต้องการและไม่ต้องการได้ โดยค่าเฉดสีที่ต้องการคือ สีของผลลำไยซึ่งจะอยู่ระหว่าง 40-60 โดยอาศัยการเลือกช่วงค่าของเฉดสีแบบ Iterative Threshold ดังภาพที่ 41 เมื่อได้ระดับการตัดภาพแล้ว ให้มาส์กส่วนที่เป็นพื้นหลังดังแสดงในภาพที่ 42 (ก) ซึ่งถูกมาส์กด้วยสีแดง คงเหลือเอาไว้เฉพาะผลลำไยและสิ่งรบกวนบางส่วนที่ไม่สามารถขจัดออกไปได้หมดในที่เดียว



ภาพที่ 41 การใช้ Iterative Threshold



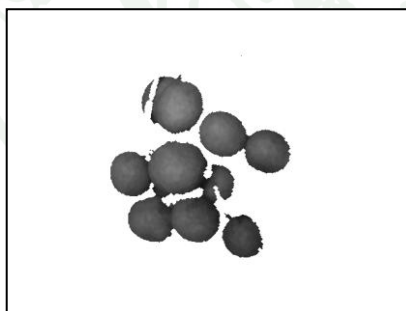
(ก)



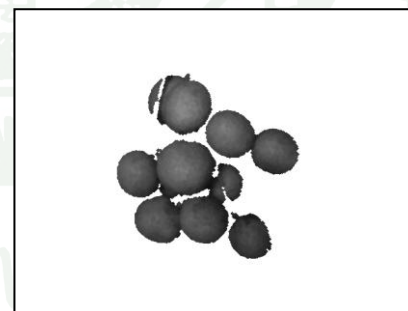
(ข)

ภาพที่ 42 (ก) พื้นหลังถูกมาสก์ด้วยสีแดง (ข) ซ่อลำไยหลังกรองสิ่งรบกวนออก การเซาะและขยายภาพ

หลังจากใช้ Color threshold เพื่อขจัดสิ่งรบกวนในภาพออกดังแสดงในภาพที่ 42 (ข) ปรากฏว่าในส่วนขอบและกิ่งเล็กๆสามารถขจัดได้ แต่กิ่งที่มีขนาดใหญ่บางส่วนไม่สามารถขจัดได้หมด เพราะว่าลักษณะของสีมีความใกล้เคียงกับสีของผล ซึ่งจะเหลือร่องรอยบางส่วนเอาไว้ วิธีการหนึ่งที่สามารถจัดการกับส่วนดังกล่าว คือ การเซาะ (Erosion) และการขยาย (Dilation) การเซาะจะทำให้ขอบของวัตถุในภาพหดไป เมื่อวัตถุนั้นมีขนาดเล็กจะทำให้ถูกขจัดออกไป แต่กับวัตถุขนาดใหญ่จะมีเพียงขอบเท่านั้นที่ถูกลบออกไป การที่ขอบถูกลบไปบางส่วนนั้นทำให้ขนาดถูกลดลงไปด้วย ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการขยายเข้ามาช่วยเพื่อคืนค่าขนาดของขอบเดิม ส่วนวัตถุเล็กที่ถูกขจัดไปด้วยวิธีการเซาะ วิธีการขยายจะไม่มีผล ภาพการเซาะและการขยายแสดงในภาพที่ 43



(ก)



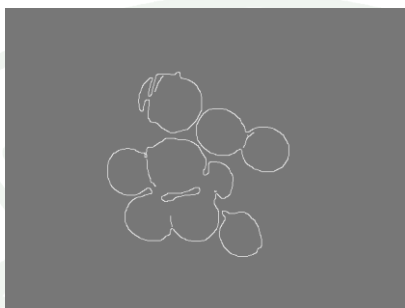
(ข)

ภาพที่ 43 (ก) ภาพที่ถูกเซาะ (ข) ภาพที่ถูกขยาย

3.2 การหาขอบภาพ

การหาขอบภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของข้อมูลให้ลดลงแต่ยังคงรักษาคุณสมบัติโครงสร้างของภาพเอาไว้ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดขนาดของหน่วยความจำและเวลาในการ

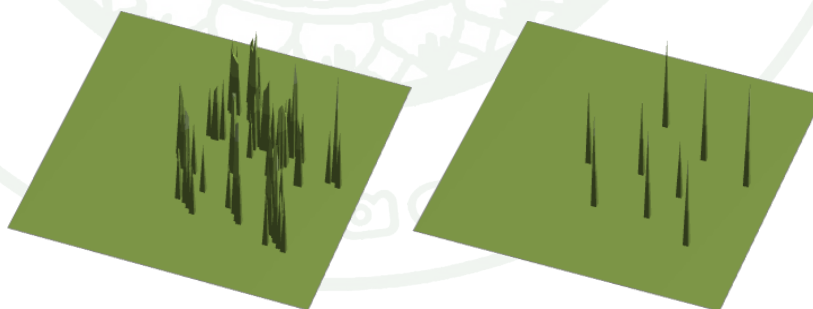
ประมวลผล การหาขอบของวัตถุในที่นี่ใช้วิธีของ Canny Edge Detection ซึ่งเป็นวิธีที่มีจุดเด่นที่ขนาดความหนาของขอบภาพจะหนาเพียง 1 พิกเซลและสามารถหาขอบวัตถุได้ดีในสถานะที่มีสิ่งรบกวนมาก การหาขอบของภาพแสดงในภาพที่ 44 ภาพที่ได้จะถูกลดขนาดลงจาก 640x320 พิกเซลให้เหลือ 160x120 พิกเซลเพื่อลดเวลาในการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป



ภาพที่ 44 ภาพขอบของช่อลำไยด้วยวิธี Canny Edge Detection

3.3 การหาจุดศูนย์กลางและขนาดลำไย

CHT ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการค้นหาวัตถุที่มีรูปร่างเป็นวงกลม โดยการคำนวณเพื่อหาจุด co-ordinate ที่เป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมแต่ละรูปนั้นสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 10 ค่าที่ได้จากการคำนวณเรียกว่า Locus หรือ x_n และ y_n ตามสมการที่ 10 ซึ่งจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบอะเรย์โดยจะมีย่อแต่ละชุดเก็บค่าแต่ละรัศมี R ที่แต่ละรัศมี ค่า Locus จะถูกสะสมไว้ในหน่วยความจำ ดังภาพที่ 45 (ก)

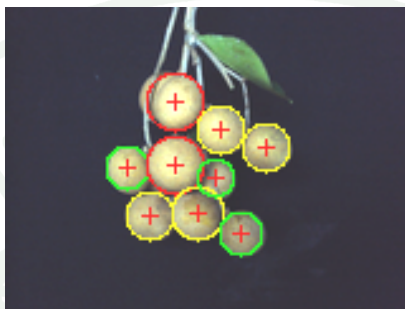


(ก) (ข)

ภาพที่ 45 Surface plots ของ (ก) ตัวแทนทั้งหมดที่ถูกคัดเลือกเป็นตำแหน่งศูนย์กลางของลำไยแต่ละลูก (ข) ตัวแทนจริงของตำแหน่งศูนย์กลางลำไยแต่ละลูก

ภาพที่ 45 (ก) แสดงถึงค่า Locus ที่ได้จากการคำนวณของแต่ละจุดบนเส้นขอบของแต่ละวงกลมซึ่งมีปริมาณมากแต่จะมีเพียงค่าๆเดียวของแต่ละกลุ่มที่จะถูกเลือกเป็นตัวแทน เพื่อพิสูจน์

การเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมที่แท้จริงอีกครั้งตั้งได้กล่าวไว้แล้วในบทก่อนหน้า ภายหลังจากการกรองให้เหลือตัวแทนตำแหน่งศูนย์กลางของแต่ละผลแล้ว ตัวแทนจะเหลือดังแสดงในภาพที่ 45 (ข) จากนั้นเมื่อได้ตัวแทนตำแหน่งศูนย์กลางแล้ว ก็ให้วาดรัศมีของแต่ละวงกลมล้อมรอบตำแหน่งศูนย์กลางในแต่ละอัน ทำจนครบจะได้ผลลัพธ์ทั้งตำแหน่งและขนาดของผลลำไยดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ผลการหาจุดศูนย์กลางและขนาดของผลลำไยบนข้อ

การเตรียมตัวอย่างและการคัดแยกขนาดด้วยมือ

การเก็บลำไยจากต้นโดยส่วนมากเกษตรกรจะใช้บันไดที่ทำมาจากไม้ไผ่ลำต้นยาวและระหว่างของท่อนไม้ไผ่จะมีทำเป็นขั้นของบันไดด้วยไม้ซี่ขนาดไม่ใหญ่มากยาวประมาณหนึ่งช่วงเท้าหรือพอให้สามารถเหยียบพร้อมกันได้ทั้งสองเท้าดังภาพที่ 47 (ก) บันไดดังกล่าวจะวางพาดไปที่ต้นของลำไย เกษตรกรจะปีนขึ้นบันไดดังกล่าวเพื่อเก็บผลผลิต การปีนขึ้นไปเกษตรกรจะมีถุงหรือกระสอบติดขึ้นไปเพื่อใส่ลำไยเมื่อเต็มก็จะนำลงมาข้างล่างเพื่อให้คนคัดแยกทำหน้าที่คัดแยกแบบคร่าวๆ ทั้งขนาดตำหนิและเด็ดกิ่งหรือใบที่ไม่ต้องการออกดังภาพที่ 47 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 47 (ก) การเก็บลำไย (ข) และการคัดแยกเบื้องต้นโดยเกษตรกร

ประเภทของการจัดจำหน่ายในท้องถิ่น มีอยู่หลายประเภททั้งจำหน่ายแบบผลร่วงหรือผลเดี่ยวเพื่อนำไปอบแห้งและแปรรูป เช่น บรรจุกระป๋อง หรือจำหน่ายแบบช่อเพื่อบริโภคผลสดหรือเพื่อการส่งออก ในกรณีของการส่งออกลำไยจะถูกนำมาคัดแยกแบบละเอียดอีกครั้ง โดยปกติช่อลำไยสดจะมีจำนวนลูกประมาณ 2-20 ลูก การคัดขนาดของผลลำไยเกษตรกรจะใช้ความชำนาญในการคัดด้วยสายตาเป็นอันดับแรก ถ้าไม่แน่ใจจะมีการใช้แม่แบบที่เจาะเป็นวงกลมตามขนาดแต่ละเกรดเอาไว้มาวางเทียบอีกครั้งเพื่อให้ได้เกรดที่ถูกต้อง บางครั้งในการประมาณเกรดของช่อลำไยเกษตรกรจะใช้วิธีนับจำนวนผลส่วนใหญ่เป็นหลัก ถ้าจำนวนผลส่วนใหญ่ในช่อมีขนาดไหนมากกว่า ก็จะถือว่าช่อลำไยนั้นีมีขนาดดังกล่าว บางครั้งก็ต้องจำเป็นที่ต้องตัดแต่งช่อโดยตัดผลที่มีขนาดไม่ได้มาตรฐานออกมาจากผลส่วนใหญ่ เพื่อความสวยงามดูแล้วไม่เกิดความแตกต่างจนมากเกินไป ดังภาพที่ 48 ทั้ง (ก) และ (ข) จากนั้นจึงนำไปมัดรวมกันให้ได้น้ำหนักตามต้องการ โดยปกติ 1 มัดจะมีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 48 (ก) ช่อลำไยที่คัดแยกมาก่อน (ข) และช่อลำไยที่ถูกตัดแต่งเรียบร้อยแล้ว

การคัดลำไยช่อส่วนมาก เกษตรกรนิยมใช้เกณฑ์เดียวกันกับลำไยผลร่วง คือ ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลลำไยเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อให้สามารถอ้างอิงกับขนาดของผลร่วงได้ ซึ่งในแต่ละปีขนาดลำไยที่ถูกกำหนดโดยตลาดกลางจะมีขนาดแตกต่างกัน ในกรณีศึกษาลำไยพันธุ์แป้นเขียว ตอ และแห้ว จากสวน ต.เหมืองห้า จ.ลำพูน และสวน อ.สารภี จ.เชียงใหม่ ระหว่างผลผลิตในปี 2551 และ 2552 พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลตามความต้องการของตลาดมีทั้งหมด 4 ขนาดดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำไยตามความต้องการของตลาด ปี 2551 ถึง 2552

เกรดลำไย	ขนาด ϕ ที่ต้องการ (มิลลิเมตร)
AA	> 31
A	29 - 31
B	27 - 29
C	\leq 27

การคัดขนาดช่อลำไยตามมาตรฐาน ช่อลำไยต้องมีความสมบูรณ์ไม่มีความเสียหายแต่ละช่อเป็นไปตามมาตรฐานด้านขนาด แต่ละคุณภาพของลำไยแบบช่อซึ่งแบ่งได้ตามมาตรฐานส่งออกได้ทั้งหมด 3 เกรด คือ

ช่อลำไยเกรด AA สามารถแบ่งตามจำนวนผลต่อน้ำหนักได้คือมากกว่า 85 ผลต่อ กิโลกรัม หรือถ้าแบ่งตามขนาดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 31 มิลลิเมตร (สิงหาคม 2551)

ช่อลำไยเกรด A สามารถแบ่งตามจำนวนผลต่อน้ำหนักได้คือ 85 – 94 ผลต่อ กิโลกรัมหรือถ้าแบ่งตามขนาดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 29 - 31 มิลลิเมตร (สิงหาคม 2551)

ช่อลำไยเกรด B สามารถแบ่งตามจำนวนผลต่อน้ำหนักได้คือ 95 – 104 ผลต่อ กิโลกรัมหรือถ้าแบ่งตามขนาดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 27 - 29 มิลลิเมตร (สิงหาคม 2551)

ช่อลำไยถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มตามขนาดที่ได้กำหนดไว้ก่อนหน้าแสดงในภาพที่ 49 ทั้งหมด 3 พันธุ์ละ 50 ช่อ ยกเว้นพันธุ์แห้ว 40 ช่อ แต่ละช่อมีจำนวนผลลำไยที่แตกต่างกันออกไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 49 (ก) ช่อลำไยก่อนการคัดแยก และ (ข) ช่อลำไยที่ตัดแต่งและคัดขนาดแล้วถูกมัดรวมกันเป็นช่อเรียงตามขนาด

การประเมินการคัดแยกของระบบ

ในการประเมินผลการคัดแยกของระบบจะใช้ลำไยทั้ง 3 พันธุ์ตามข้างต้น รวม 140 ช่อและสามารถนับผลแบบผลเดี่ยวได้ 997 ผล แบ่งเป็นผลลำไยที่ไม่มีการถูกบัง (สามารถมองเห็นได้ทั้งผล) 658 ผล การประเมินแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การประเมินความถูกต้องของการค้นหาลำไยผลเดี่ยวในช่อ

การประเมินความถูกต้องของการค้นหาลำไยผลเดี่ยวในช่อโดยไม่มีการคัดแยกพันธุ์ มีเงื่อนไขในการทดสอบแบ่งออกเป็นสองกรณี กรณีแรกเป็นการตรวจสอบผลลำไยที่สามารถมองเห็นได้ทั้งผล ไม่มีการบังจากผลอื่นหรือส่วนอื่นๆ กรณีที่สองเป็นการตรวจสอบผลลำไยทั้งหมดที่ปรากฏบนช่อนั้นๆ ทั้งที่มองเห็นได้ทั้งผลและมองเห็นได้เพียงบางส่วน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1.1 คัดเลือกช่อลำไยโดยเกษตรกรที่มีความชำนาญ 3 พันธุ์ๆ รวม 140 ช่อ
- 1.2 วางช่อลำไยบนตำแหน่งที่ได้เตรียมไว้ บันทึกภาพและประมวลผล
- 1.3 บันทึกจำนวนผลลำไยที่ตรวจสอบเจอทั้งสองเงื่อนไข
- 1.4 เปลี่ยนลำไยช่อใหม่แล้วทำซ้ำข้อ 1.2 ถึง 1.3 จนครบทุกช่อ
- 1.5 เปลี่ยนพันธุ์ลำไย แล้วทำซ้ำข้อ 1.2 ถึง 1.4 จนครบทั้ง 3 พันธุ์

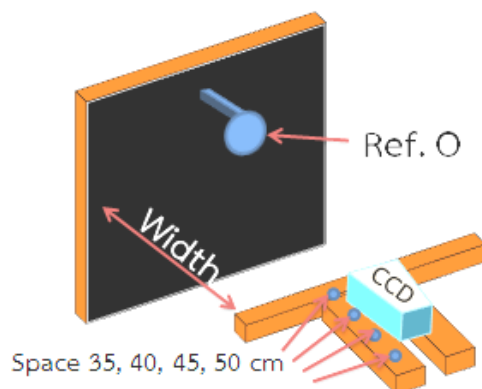
การประเมินความถูกต้องของการค้นหาลำไยผลเดี่ยวในช่อโดยแบ่งตามลักษณะพันธุ์ มีเงื่อนไขและวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับหัวข้อการตรวจพบผลลำไยที่อยู่บนช่อโดยไม่มีการคัดแยกพันธุ์

2. การสร้างสมการเปรียบเทียบ

การประเมินความถูกต้องของการคัดขนาดผลลำไยที่อยู่บนช่อโดยแบ่งตามลักษณะพันธุ์มีเงื่อนไขและวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับหัวข้อการตรวจพบผลลำไยที่อยู่บนช่อโดยไม่มีการคัดแยกพันธุ์ ในหัวข้อนี้ ก่อนการทดลองกับลำไยในช่อ จะต้องมีการศึกษาการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากระบบโดยเทียบกับค่าที่ใช้ในการอ้างอิงก่อน เพื่อสร้างสมการเปรียบเทียบค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไยกับค่าอ้างอิง เพื่อให้ค่าที่วัดได้จากระบบสามารถเทียบเคียงกับมาตราวัดแล้วทำให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายและดีที่สุด การเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ที่ระยะต่างๆกัน โดยมีการปรับเปลี่ยนระยะห่างจากกล้องถึงช่อลำไย 4 ระยะ (35 40 45 และ 50 เซนติเมตร) และใช้แผ่นกระดาษตัดเป็นรูวงกลมในการสอบเทียบระบบ แสดงในภาพที่ 50 ขนาดกระดาษแบ่งเป็น 6 ขนาดมีรัศมีเป็น 25 28 30 32 35 และ 40 มิลลิเมตร ขั้นตอนการปรับเทียบมีดังนี้

- 2.1 สร้างกระดาษอ้างอิงที่จะใช้ในการทดสอบขึ้นมา 6 ขนาด
- 2.2 ปรับระยะความห่างของกล้องจากวัตถุไว้ที่ระยะที่ 1

- 2.3 วางกระดาษขนาดที่ 1 ลงบนพื้นที่ที่กำหนด
- 2.4 ถ่ายภาพแล้วประมวลผล 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย บันทึกผล
- 2.5 เปลี่ยนกระดาษขนาดที่ 2 ถึง 6 แล้วทำซ้ำข้อ 2.3 ถึง 2.4
- 2.6 เพิ่มระยะความห่างอีกหนึ่งระยะ แล้วทำซ้ำข้อ 2.3 ถึง 2.5.



ภาพที่ 50 การทดสอบเปรียบเทียบระยะกล้องไปยังวัตถุเป้าหมาย

3. การประเมินความถูกต้องของการคัดขนาด

การประเมินความถูกต้องของการคัดขนาดผลลำไยที่อยู่บนช่อโดยไม่มีการคัดแยกพันธุ์ มีเงื่อนไขในการทดสอบแบ่งออกเป็นสองกรณี กรณีแรกเป็นการตรวจสอบผลลำไยที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมด ไม่มีการบังจากผลอื่นหรือส่วนอื่นๆ กรณีที่สองเป็นการตรวจสอบผลลำไยทั้งหมดที่ปรากฏบนช่ออื่นๆ ทั้งที่มองเห็นได้ทั้งหมดและมองเห็นได้เพียงบางส่วน โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 3.1 คัดเลือกช่อลำไยโดยเกษตรกรที่มีความชำนาญ 3 พันธุ์ๆรวม 140 ช่อ
- 3.2 วางช่อลำไยบนตำแหน่งที่ได้เตรียมไว้ บันทึกภาพและประมวลผล
- 3.3 บันทึกขนาดของผลลำไยที่ตรวจสอบเจอทั้งสองเงื่อนไข
- 3.4 เปลี่ยนลำไยช่อใหม่แล้วทำซ้ำข้อ 3.2 ถึง 3.3 จนครบทุกช่อ
- 3.5 เปลี่ยนพันธุ์ลำไย แล้วทำซ้ำข้อ 3.2 ถึง 3.4 จนครบทั้ง 3 พันธุ์

ผลลัพธ์ที่ได้ถูกคำนวณเป็นค่าความถูกต้องของการอ่าน โดยคำนวณจาก

$$\frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Dd_i}{Dt_i} \quad \dots (11)$$

เมื่อ n คือ จำนวนผลลำไยที่อ่านได้

Dd_i คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไยใดๆที่อ่านได้จากระบบ

Dt_i คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางกลางจริงของผลลำไยใดๆ

4. การประเมินประสิทธิภาพการแยกลำไยแบบช่อ

การประเมินประสิทธิภาพการแยกลำไยแบบช่อโดยไม่มีการคัดแยกพันธุ์ เป็นการทดสอบหาขนาดของผลลำไยที่อยู่ในช่อเพื่อประเมินขนาดของช่อลำไยนั้นๆ เงื่อนไขการแบ่งเกรดของแต่ละช่อจะขึ้นอยู่กับจำนวนผลลำไยที่ตรวจพบและสามารถระบุขนาดได้ โดยจำนวนผลลำไยที่ตรวจพบเกรดใดๆมีจำนวนมากที่สุด ให้ระบุเกรดของผลลำไยในช่อนั้นเป็นเกรดนั้นๆ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 4.1 คัดเลือกช่อลำไยโดยเกษตรกรที่มีความชำนาญ 3 พันธุ์ๆ รวม 140 ช่อ
- 4.2 วางช่อลำไยบนตำแหน่งที่ได้เตรียมไว้ บันทึกภาพและประมวลผล
- 4.3 บันทึกจำนวนผลลำไยที่ตรวจสอบเจอและสามารถระบุขนาดได้
- 4.4 บันทึกผลการเปรียบเทียบจำนวนผลลำไยแต่ละเกรดภายในช่อ เพื่อระบุเกรดของช่อ
- 4.5 บันทึกเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละช่อ
- 4.6 เปลี่ยนลำไยช่อใหม่แล้วทำซ้ำข้อ 4.2 ถึง 4.5 จนครบทุกช่อ
- 4.7 เปลี่ยนพันธุ์ลำไย แล้วทำซ้ำข้อ 4.2. ถึง 4.6. จนครบทั้ง 3 พันธุ์

การทดสอบการแบ่งกลุ่มของช่อลำไยโดยแบ่งตามลักษณะพันธุ์มีเงื่อนไขและวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับหัวข้อการแบ่งกลุ่มของช่อลำไยโดยไม่มีการคัดแยกพันธุ์

5. การประเมินผลและสมรรถนะของระบบ

เป็นการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบในการคัดลำไยแบบช่อ โดยช่อลำไยจะถูกคัดจากเกษตรกรที่มีความชำนาญมาก่อน แบ่งออกเป็นสามขนาด คือ AA A และ B จำนวนของช่อที่คัดถูกต้องและผิดพลาดจะถูกบันทึกและคำนวณจากสมการ การประเมินประสิทธิภาพการคัดแยกโดยประสิทธิภาพ (E_w) สมรรถนะ (Q) และอัตราการเจือปนเฉลี่ย (\bar{C}_R) หาได้จากสมการการวิเคราะห์ (Peleg, 1985) ดังนี้

$$E_w = \sum \left(\frac{P_{gi} \cdot W_i \cdot G_i}{Q P_i} \right) \quad \dots (12)$$

$$P_{gi} = \frac{N_{gi}}{N_{ii}} \quad \dots (13)$$

$$N_{ii} = N_{gi} + N_{ij} \quad \dots (14)$$

$$W_i = \frac{K_i P_i}{\sum K_i P_i} \quad \dots (15)$$

$$P_i = \frac{N_i}{\sum N_i} \quad \dots (16)$$

$$G_i = \frac{W_i}{t} \quad \dots (17)$$

$$Q = \frac{W_t}{t} \quad \dots (18)$$

$$\bar{C}_R = \frac{\sum N_{ij}}{\sum N_i} \quad \dots (19)$$

เมื่อ	E_w	คือ	ประสิทธิภาพการคัด (Sizing Efficiency)
	G_i	คือ	อัตราการไหลออก (Outflow rate) ของเกรด i (น้ำหนัก / เวลา)
	K_i	คือ	เศษส่วนมูลค่าหรือราคาที่สัมพันธ์กับเกรด i ต่างๆ
	N_i	คือ	จำนวนผลไม้เกรด i เมื่อป้อนเข้าสู่การคัดขนาด
	$\sum N_i$	คือ	จำนวนผลไม้ทั้งหมด เกรด
	N_{ij}	คือ	จำนวนผลไม้เกรด j ที่ตกในช่องเกรด i
	N_{gi}	คือ	จำนวนผลไม้เกรด i ที่ตกในช่องเกรด j (ถูกคัดออกมาถูกต้อง)
	N_{ti}	คือ	จำนวนผลไม้ทั้งหมดที่ตกในช่องเกรด i
	P_i	คือ	เศษส่วนของผลไม้เกรด i ในผลไม้ทั้งหมดเริ่มคัดขนาด
	P_{gi}	คือ	เศษส่วนของผลไม้ถูกต้องที่คัดได้ในช่องเกรด i
	Q	คือ	สมรรถนะหรืออัตราการไหลเข้า (Inflow rate) (น้ำหนัก/เวลา)
	T	คือ	เวลาที่ใช้ในการคัดขนาด
	W_i	คือ	Weighting function
	w_i	คือ	น้ำหนักรวมของผลไม้ที่ตกในช่องเกรด i (สมนัยกับ N_{ti})
	w_t	คือ	น้ำหนักรวมของผลไม้ทั้งหมด (สมนัยกับ $\sum N_i$)
	\bar{C}_R	คือ	อัตราการเจือปนเฉลี่ย (Contamination ratio)

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

ระยะเวลาในการทดลอง

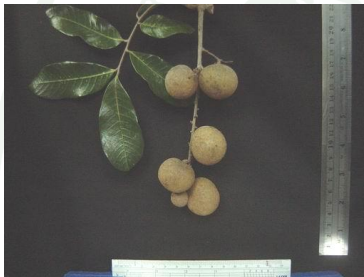
เริ่มทดสอบตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2551 สิ้นสุดเดือน สิงหาคม 2553

ผลและวิจารณ์การทดลอง

ในการทดลองนี้ได้แบ่งรูปแบบของผลการทดลองออกเป็น 5 รูปแบบดังนี้

1. ผลการประเมินความถูกต้องของการค้นหาผลไม้เดี่ยวในช่อง
2. ผลการสร้างสมการเปรียบเทียบ
3. ผลการประเมินความถูกต้องของการคัดขนาด
4. ผลการประเมินประสิทธิภาพการแยกผลไม้แบบช่อง
5. ผลการประเมินผลและสมรรถนะของระบบ

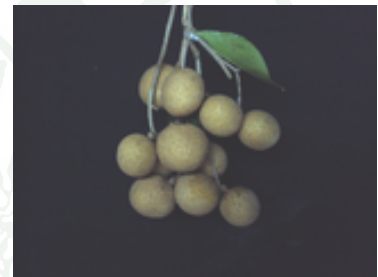
ผลของการทดลองได้แสดงโดยแบ่งตามพันธุ์ของลำไยทั้งหมดพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ดอ พันธุ์แห้ว และพันธุ์เปี้ยวเขียว และลำไยแบบช่องทั้ง 3 พันธุ์ได้แสดงในภาพที่ 51 (ก) ถึง (ค) ตามลำดับ



(ก)



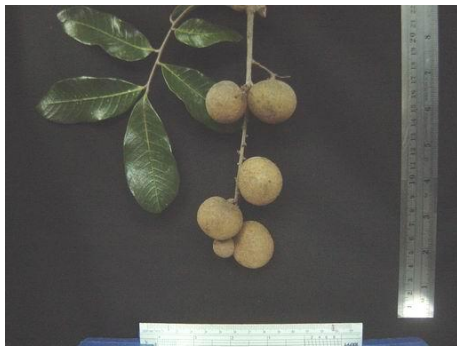
(ข)



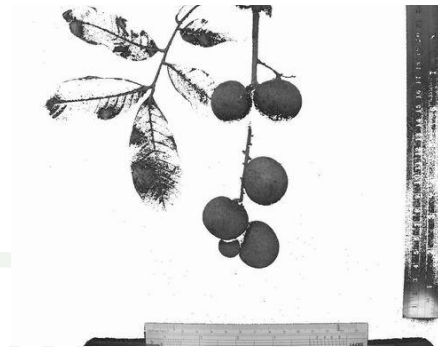
(ค)

ภาพที่ 51 ลำไยช่องที่ใช้ทดลอง (ก) พันธุ์ดอ (ข) พันธุ์แห้ว (ค) พันธุ์เปี้ยวเขียว

เมื่อป้อนช่องลำไยเข้าสู่ระบบแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการจัดองค์ประกอบของภาพ ด้วยวิธีการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกไป เช่น กิ่ง และใบ ออกให้มากที่สุด เพื่อให้เหลือเฉพาะผลของลำไยในช่อง ขั้นตอนนี้ได้เลือกใช้วิธี Color threshold เพื่อแยกแยะสีที่แตกต่างจากสีผลลำไย ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 52 ถึง 54

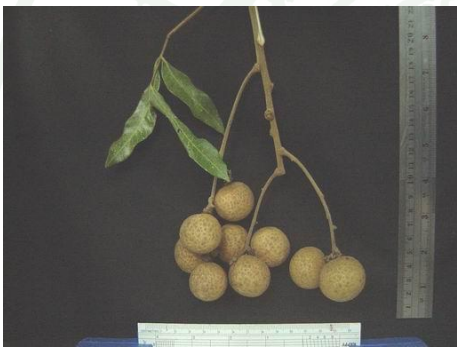


(ก)

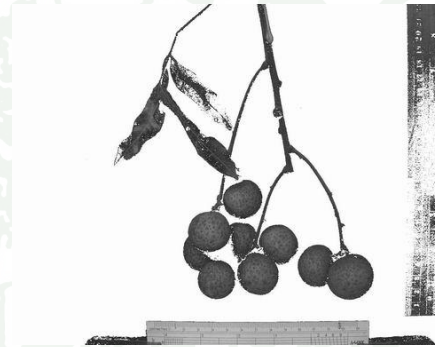


(ข)

ภาพที่ 52 ลำไยช่อพันธุ์ดอ (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพผ่านกระบวนการ Color threshold



(ก)



(ข)

ภาพที่ 53 ลำไยช่อพันธุ์แห้ว (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพผ่านกระบวนการ Color threshold



(ก)



(ข)

ภาพที่ 54 ลำไยช่อพันธุ์เปี้ยวเขียว (ก) ภาพปกติ (ข) ภาพผ่านกระบวนการ Color threshold

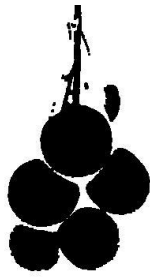
จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Erosion เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กๆออกจากภาพ กระบวนการ Erosion นอกจากจะขจัดจุดเล็กๆออกแล้ว บริเวณขอบของผลไม้ก็จะถูกเซาะออกไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นหลังจากกระบวนการ Erosion จำต้องใช้กระบวนการ Dilation เพื่อคืนค่าบริเวณขอบของผลไม้ ให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดเดิมก่อนกระบวนการ Erosion ขั้นตอนถัดไปหลังจากผ่านกระบวนการก่อนหน้าคือ ขั้นตอนของการหาขอบของวัตถุ ในการทดลองใช้วิธีของ Canny edge detection เพื่อหาขอบของผลไม้ ซึ่งวิธีนี้สามารถหาขอบของผลไม้ได้ โดยมีความหนาของขอบผลไม้เพียง 1 พิกเซล ภาพของกระบวนการ Erosion กับ Dilation และ กระบวนการหาขอบด้วย Canny edge detection ของลำไยแต่ละพันธุ์ แสดงในภาพที่ 55 ถึง 57



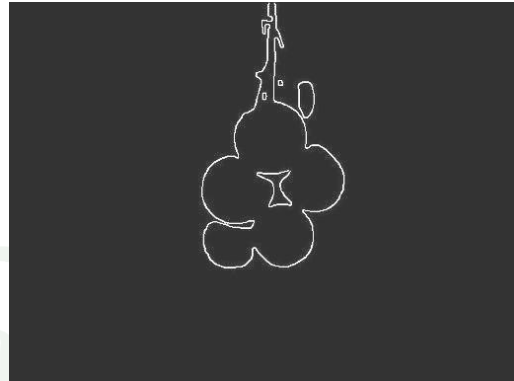
ภาพที่ 55 ลำไยช่อพันธุ์ดอ (ก) ภาพหลังการ Dilation (ข) ภาพขอบ



ภาพที่ 56 ลำไยช่อพันธุ์แห้ว (ก) ภาพหลังการ Dilation (ข) ภาพขอบ



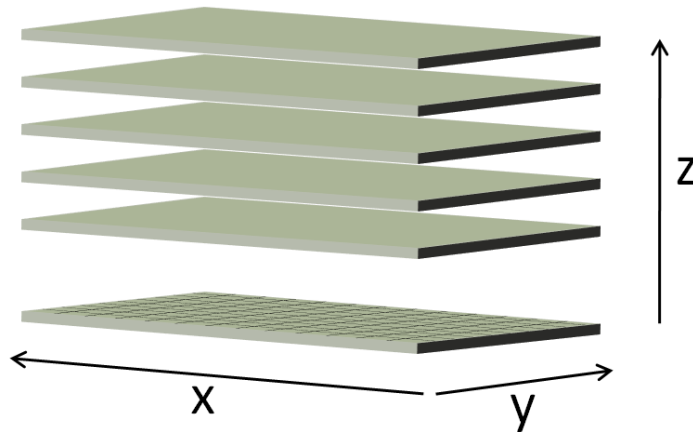
(ก)



(ข)

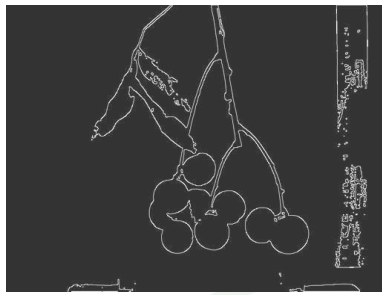
ภาพที่ 57 ลำไยข้อพันธุ์เบียร์เขียว (ก) ภาพหลังการ Dilation (ข) ภาพขอบ

ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการคือ การหาตำแหน่งและขนาดของลำไยภายในข้อ ในขั้นตอนนี้ได้อาศัยภาพขอบจากขั้นตอนก่อนหน้าและวิธีการ CHT โดยวิธีการได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อก่อนหน้าข้อมูลและจากการค้นหาตำแหน่งผลลำไยในข้อถูกเก็บไว้ในตัวแปรแบบอะเรย์ 3 มิติ คือ พิกัดตำแหน่ง x และ y ส่วนขนาดรัศมีของผลเก็บเป็นชั้นๆของแต่ละ z ดังแสดงในภาพที่ 58

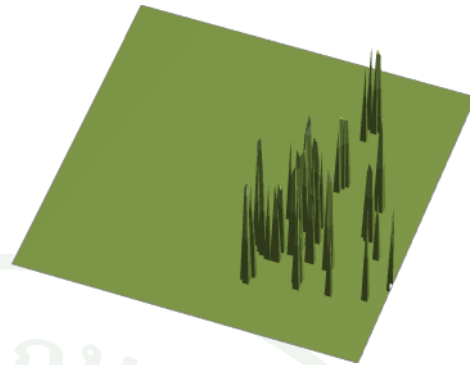


ภาพที่ 58 อาเรย์ 3 มิติ สำหรับเก็บตำแหน่งและขนาดของผลลำไย

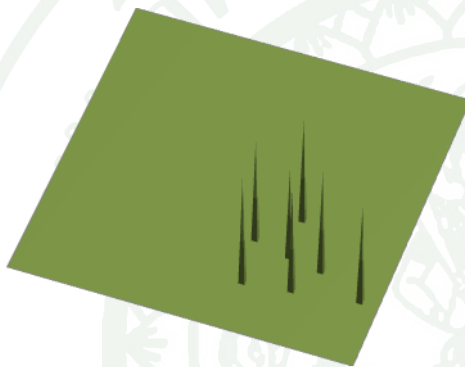
เมื่อเก็บข้อมูลตำแหน่งและขนาดของผลลำไยทั้งข้อแล้ว ข้อมูลที่ได้ยังเป็นข้อมูลที่คาดว่า จะเป็นจุดศูนย์กลางของผลลำไยในข้อซึ่งต้องใช้วิธีการกรองข้อมูล (ได้อธิบายไว้ในหัวข้อก่อนหน้า) มาช่วยจัดการ เพื่อให้เหลือข้อมูลที่เป็นตัวแทนของจุดศูนย์กลางของผลลำไยแต่ละลูกแบ่งตามพันธุ์ แสดงในภาพที่ 59 ถึง 61



(ก)



(ข)

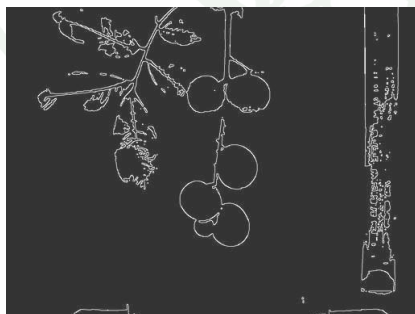


(ค)

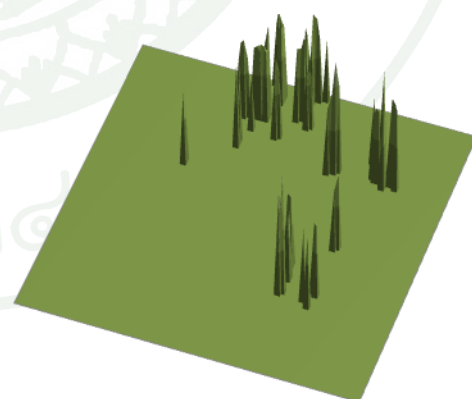


(ง)

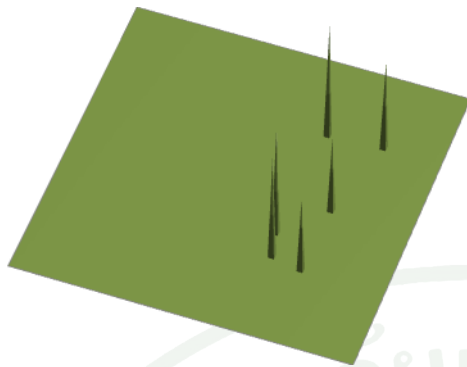
ภาพที่ 59 ข้อมูลตัวแทนจุดศูนย์กลางผลลำไยพันธุ์ดอ (ก) ภาพขอบ (ข) ตัวแทนทั้งหมด (ค) ตัวแทนจริง (ง) ขนาดและตำแหน่งของลำไย



(ก)



(ข)

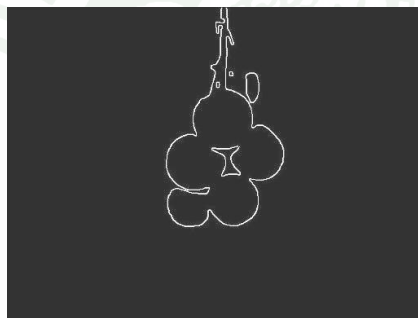


(ค)



(ง)

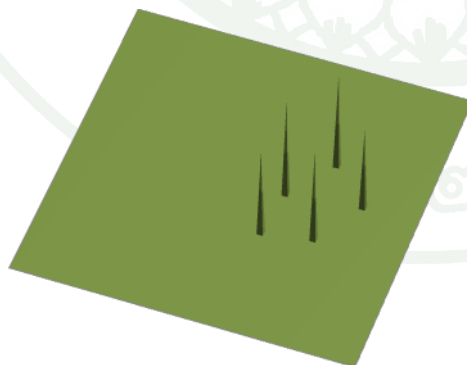
ภาพที่ 60 ข้อมูลตัวแทนจุดศูนย์กลางผลลำไยพันธุ์แห้ว (ก) ภาพขอบ (ข) ตัวแทนทั้งหมด (ค) ตัวแทนจริง (ง) ขนาดและตำแหน่งของลำไย



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 61 ข้อมูลตัวแทนจุดศูนย์กลางผลลำไยพันธุ์เปี้ยวเขียว (ก) ภาพขอบ (ข) ตัวแทนทั้งหมด (ค) ตัวแทนจริง (ง) ขนาดและตำแหน่งของลำไย

เมื่อสามารถระบุตำแหน่งที่เป็นจุดศูนย์กลางจริงของลำไยแต่ละผลที่ค้นพบได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดขนาดของลำไยภายในช่อ โดยออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด AA เป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุด ขนาด A เป็นขนาดรองลงมา และ ขนาด B เป็นขนาดที่เล็กที่สุด ผลการระบุขนาดของผลลำไยในภาพแสดงในภาพ โดยขนาด AA ระบบได้แสดงวงกลมสีแดงล้อมรอบไว้ ขนาด A เป็นวงกลมสีเขียว เหลือง และขนาด B เป็นวงกลมสีเขียว

ผลการทดลองที่ได้ถูกเก็บไว้ทั้งในรูปแบบผลเดี่ยวภายในช่อและแบบทั้งช่อ โดยแบ่งตามพันธุ์ของลำไย ได้แก่ พันธุ์ดอจำนวน 50 ช่อ 332 ผล พันธุ์แห้วจำนวน 50 ช่อ 366 ผล และพันธุ์เป็ยิวเขียวจำนวน 40 ช่อ 300 ผล ซึ่งได้วิเคราะห์ผลแบ่งตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ผลการประเมินความถูกต้องของการค้นหาลำไยผลเดี่ยวในช่อ

เป็นการทดสอบแบบสองสถานะคือตรวจพบกับตรวจไม่พบ โดยแบ่งออกเป็นสองกรณี ได้แก่ กรณีแรกผลลำไยที่ติดอยู่กับช่อที่ใช้ในการทดสอบนั้นต้องสามารถเห็นผลลำไยได้ทั้งหมดไม่มีการบดบังจากสิ่งอื่นไม่ว่าจะเป็น ก้าน ใบหรือผลลำไยลูกใกล้เคียง ส่วนกรณีที่สองผลลำไยที่ติดอยู่กับช่อที่ใช้ในการทดสอบนั้นอาจมีการถูกบดบังจากสิ่งอื่นได้ อาจจะมีมองเห็นได้เพียงบางส่วน ในการออกแบบการทดสอบนี้ ก็เพื่อจุดประสงค์ในการทดสอบสมรรถนะของโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นมาในการค้นหาลำไยที่ติดอยู่บนช่อว่ามีความสามารถในการค้นหาที่ยอมรับได้หรือไม่ ดังแสดงในภาพที่ 62



ภาพที่ 62 ตัวอย่างการตรวจสอบหาผลลำไยในช่อ (ก) พันธุ์เป็ยิวเขียว (ข) พันธุ์แห้ว (ค) พันธุ์ดอ

จากภาพที่ 62 เป็นตัวอย่างของช่อลำไยทั้งสามพันธุ์ที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อตรวจสอบการค้นหาผลลำไยในช่อ ในแต่ละช่อประกอบด้วยผลลำไยที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมดและผลลำไยที่ถูกบังหรือสามารถมองเห็นได้บางส่วนปะปนกัน ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมา สามารถตรวจสอบผลลำไยและแยกขนาดของผลลำไยในช่อได้ โดยแสดงผลไว้ในตารางที่ 6 ถึง 8

ตารางที่ 6 ผลบันทึกการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนข้อพันธุ์เขียวเขียวข้อที่ A22

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ พบ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด คัดได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
A22	1	127	0	1	26	25.5	98.2	B	B	B	B
	2	128	0	1	25	24.0	95.9	B	B		
	3	129	0	1	26	25.5	98.2	B	B		
	4	130	0	1	28	28.6	97.7	A	A		
	5	131	0	1	28	27.1	96.7	A	B		

จากตารางบันทึกผลที่ 6 เป็นการบันทึกผลการทดสอบผลลำไยพันธุ์เขียวเขียวข้อที่ A22 มีจำนวนผลในข้อทั้งหมด 5 ผล แต่ละผลไม่มีการบดบังกัน การจำแนกขนาดแบ่งเป็นขนาด B จำนวน 3 ผลและขนาด A จำนวน 2 ผล จัดให้เป็นข้อลำดับ B ในการทดสอบพบว่าระบบสามารถตรวจพบจำนวนลำไยได้ทุกผล แบ่งเป็นการตรวจพบขนาด B จำนวน 4 ผลและขนาด A จำนวน 1 ผลและจัดลำดับของข้อเป็นลำดับ B

ตารางที่ 7 ผลบันทึกการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนข้อพันธุ์แก้วข้อที่ B13

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ พบ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด คัดได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
B13	1	91	0	1	28	28.5	98.1	A	A	AA	AA
	2	92	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	93	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	94	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	5	95	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	6	96	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		

จากตารางบันทึกผลที่ 7 เป็นการบันทึกผลการทดสอบผลลำไยพันธุ์แก้วข้อที่ B13 มีจำนวนผลในข้อทั้งหมด 6 ผล แต่ละผลไม่มีการบดบังกัน การจำแนกขนาดแบ่งเป็นขนาด AA จำนวน 3 ผลและขนาด A จำนวน 3 ผล จัดให้เป็นข้อลำดับ AA ในการทดสอบพบว่าระบบสามารถตรวจพบจำนวนลำไยได้ทุกผล แบ่งเป็นการตรวจพบขนาด AA จำนวน 3 ผลและขนาด A จำนวน 3 ผลและจัดลำดับของข้อเป็นลำดับ AA

ตารางที่ 8 ผลบันทึกการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนข้อพันธุ์ต่อข้อที่ C11

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ พบ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด คัดได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
C11	1	64	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	65	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
	3	66	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	67	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	5	68	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	6	69	0	1	26	28.5	90.3	B	A		
	7	70	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	8	71	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	9	72	0	1	30	27.3	91.1	AA	A		

จากตารางบันทึกผลที่ 8 เป็นการบันทึกผลการทดสอบผลลำไยพันธุ์ต่อข้อที่ C11 มีจำนวนผลในข้อทั้งหมด 9 ผล มีลำไย 1 ผลที่ถูกบดบัง นอกนั้นไม่มีการบดบังกัน การจำแนกขนาดแบ่งเป็นขนาด AA จำนวน 3 ผล ขนาด A จำนวน 5 ผลและขนาด B จำนวน 1 ผล จัดให้เป็นข้อลำดับ A ในการทดสอบพบว่าระบบสามารถตรวจพบจำนวนลำไยได้ทุกผล ตรวจพบเป็นขนาด A ทั้งหมดทุกผล จำนวน 9 ผล จัดลำดับของข้อเป็นลำดับ A

จากข้อมูลการบันทึกผลการทดลองของลำไยทั้งสามพันธุ์ จำนวน 140 ข้อ 998 ผล แบ่งเป็นพันธุ์เขียวเขียว 40 ข้อ 300 ผล พันธุ์แก้ว 50 ข้อ 366 ผลและพันธุ์ต่ออีก 50 ข้อ 332 ผล (แสดงให้รายละเอียดในภาคผนวก ข-ง) สามารถนำมาสรุปเป็นผลการทดสอบรวมและแบบจำแนกตามพันธุ์ลำไยได้ดังรายละเอียดในตารางที่ 9 ถึง 11

ตารางที่ 9 การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนข้อโดยไม่มีการจำแนกพันธุ์

Condition	Longans in image	Longans found	Accuracy %
Not overlapped	663	576	86.9 %
Overlapped	335	211	63.0 %
All	998	787	78.9 %

จากตารางที่ 9 พบว่าการคัดแยกผลลำไยบนข้อโดยไม่จำแนกพันธุ์ในกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งหมดนั้น ระบบคัดแยกสามารถตรวจสอบพบ 576 ผลจากลำไยที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมด 663 ผลหรือ 86.9 % ที่ระบบสามารถ

ตรวจสอบได้ ส่วนกรณีที่สองสำหรับลำไยที่ถูกบดบังนั้นระบบจะสามารถตัดแยกได้ความถูกต้องที่น้อยกว่าคือสามารถตรวจพบ 211 ผลจากลำไยในเงื่อนไขทั้งหมด 335 ผลหรือคิดเป็น 63.0 % และถ้าคิดรวมทั้งสองกรณีระบบสามารถตรวจพบ 787 ผลจากลำไยทั้งหมด 998 ผลหรือ 78.9 % ที่ระบบสามารถตรวจพบได้

ตารางที่ 10 การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อของพันธุ์ต่อ

Condition	Longans in image	Longans found	Accuracy %
Not overlapped	194	165	85.1 %
Overlapped	138	97	70.3 %
All	332	262	78.9 %

จากตารางที่ 10 พบว่าการตัดแยกผลลำไยบนช่อพันธุ์ต่อนั้น เงื่อนไขการทดสอบกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งหมดนั้น ระบบตัดแยกสามารถตรวจสอบพบ 165 ผลจากลำไยที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมด 194 ผลหรือ 85.1% ที่ระบบสามารถตรวจสอบได้ ส่วนกรณีที่สองสำหรับลำไยที่ถูกบดบังนั้นระบบจะสามารถตัดแยกได้ความถูกต้องคือ 97 ผลจากลำไยในเงื่อนไขทั้งหมด 138 ผลหรือคิดเป็น 70.3 % และถ้าคิดรวมทั้งสองกรณีระบบสามารถตรวจพบ 262 ผลจากลำไยทั้งหมด 332 ผลหรือ 78.9 % ที่ระบบสามารถตรวจพบได้

ตารางที่ 11 การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อของพันธุ์แห้ว

Condition	Longans in image	Longans found	Accuracy %
Not overlapped	245	207	84.5 %
Overlapped	121	79	65.3 %
All	366	286	78.1 %

จากตารางที่ 11 พบว่าการตัดแยกผลลำไยบนช่อพันธุ์แห้วนั้น เงื่อนไขการทดสอบกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งหมดนั้น ระบบตัดแยกสามารถตรวจสอบพบ 207 ผลจากลำไยที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมด 245 ผลหรือ 84.5 % ที่ระบบสามารถตรวจสอบได้ ส่วนกรณีที่สองสำหรับลำไยที่ถูกบดบังนั้นระบบจะสามารถตัดแยกได้ความถูกต้องคือ 79 ผลจากลำไยในเงื่อนไขทั้งหมด 121 ผลหรือคิดเป็น 65.3 % และถ้าคิดรวมทั้งสอง

กรณีระบบสามารถตรวจพบ 286 ผลจากลำไยทั้งหมด 366 ผลหรือ 78.1 % ที่ระบบสามารถตรวจพบได้

ตารางที่ 12 การตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อของพันธุ์เบ็ญเขียว

Condition	Longans in image	Longans found	Accuracy %
Not overlapped	224	204	91.1 %
Overlapped	76	35	46.1 %
All	300	239	79.7 %

จากตารางที่ 12 พบว่าการตัดแยกผลลำไยบนช่อพันธุ์เบ็ญเขียว นั้น เงื่อนไขการทดสอบกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งหมดนั้น ระบบตัดแยกสามารถตรวจสอบพบ 204 ผลจากลำไยที่สามารถมองเห็นได้ทั้งหมด 224 ผลหรือ 91.1 % ที่ระบบสามารถตรวจสอบได้ ส่วนกรณีที่สองสำหรับลำไยที่ถูกบังนั้นระบบจะสามารถตัดแยกได้ ความถูกต้องคือ 35 ผลจากลำไยในเงื่อนไขทั้งหมด 76 ผลหรือคิดเป็น 46.1 % และถ้าคิดรวมทั้งสองกรณีระบบสามารถตรวจพบ 239 ผลจากลำไยทั้งหมด 300 ผลหรือ 79.7 % ที่ระบบสามารถตรวจพบได้

ตารางที่ 13 แสดงรวมผลการตรวจสอบผลลำไยที่อยู่บนช่อทุกพันธุ์

Condition	Detection the Longans								
	ดอ			เบ็ญเขียว			แก้ว		
	In img	found	%	In img	found	%	In img	found	%
Not overlapped	194	165	85.1	224	204	91.1	245	207	84.5
Overlapped	138	97	70.3	76	35	46.1	121	79	65.3
All	332	262	78.9	300	239	79.7	366	286	78.1

ตารางที่ 13 แสดงการตรวจสอบลำไยโดยจำแนกตามพันธุ์พบว่ากรณีแรกเมื่อลำไยไม่ถูกบัง จะให้อัตราส่วนของการตรวจสอบพบมากกว่า 84 % ในส่วนของการตรวจพบระหว่างพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันนั้น คือบางพันธุ์ตรวจพบได้มากกว่า ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากการตัดแต่งช่อที่เป็นระเบียบและการกระจายตัวของลำไยในช่อที่วางตัวเป็นระเบียบ อย่างไรก็ตามผลลำไยที่ไม่ถูกบังจะให้อัตราส่วนของการตรวจพบที่มากกว่าลำไยที่มีการถูกบัง เหตุผลเพราะว่าเมื่อลำไยถูกบังด้วยผลที่อยู่รอบข้างหรือส่วนอื่น เช่น กิ่งและใบ ระบบไม่สามารถที่จะหาขอบของผลลำไยได้ดีเท่ากับที่เห็นทั้งผลแบบ

เต็มผล เมื่อขอบของลำใยถูกสร้างขึ้นแบบไม่สมบูรณ์แล้ว การดำเนินการในขั้นตอนของการตรวจสอบ จึงทำได้ยากยิ่งขึ้น

2. ผลการสร้างสมการเปรียบเทียบ

การศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับระยะทางของการถ่ายภาพต่อคุณภาพของการถ่ายภาพ

การศึกษาระยะทางที่มีผลต่อภาพถ่ายเป็นการศึกษาหาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อการถ่ายภาพมีระยะทางที่แตกต่างกัน จุดประสงค์คือการนำไปใช้สอบหรือเปรียบเทียบกับขนาดจริงของวัตถุเป้าหมาย เช่น การแปลงค่าจากหน่วยของพิกเซลเป็นหน่วยของมิลลิเมตร เพื่อให้ได้สมการที่สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการตรวจวัดและให้สามารถนำไปใช้ในงานจริงได้ง่าย เนื่องจากในกระบวนการตรวจสอบและวัดค่าด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพนั้นจำเป็นต้องรายงานผลหรือค่าที่วัดได้เป็นหน่วยวัดความยาว เช่น ลำใยมีหน่วยวัดเพื่อระบุขนาดหรือเกรดเป็นหน่วยมิลลิเมตร เป็นต้น

ในการทดสอบหาระยะทางที่มีผลต่อภาพถ่ายได้กำหนดระยะทางที่แตกต่างกัน 4 ระยะทาง และขนาดของวัตถุเป้าหมาย 6 ขนาด ดังที่กล่าวในบทก่อนหน้าพบว่าเมื่อมีระยะทางในการถ่ายภาพที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลถึงค่าที่อ่านได้เช่นกัน (หน่วยพิกเซล) ดังแสดงในตารางที่ 14 แสดงผลการคำนวณจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น เมื่ออ่านค่าวัตถุอ้างอิงที่ระยะทางของกล้องต่างกัน

ตารางที่ 14 ขนาดวัตถุอ้างอิงในหน่วยวัดแบบพิกเซล

ระยะทางของกล้อง (เซนติเมตร)	ค่าที่วัดได้ (พิกเซล) ของแต่ละขนาดวัตถุ (มิลลิเมตร)					
	25	28	30	32	35	40
50	10	14	16	20	22	28
45	12	15	18	22	25	31
40	15	19	21	24	28	34
35	18	21	24	28	31	38

เมื่อนำค่าขนาดวัตถุอ้างอิงในหน่วยพิกเซลวิเคราะห์แบบหาความแปรปรวนของการหาระยะทางการถ่ายภาพ พบว่าระยะทางการถ่ายภาพมีอิทธิพลต่อขนาดของวัตถุที่อ่านค่าได้ (พิกเซล) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือยิ่งระยะยิ่งมากขึ้นเท่าไรขนาดพิกเซลที่อ่านได้ยิ่งเล็กลงเท่านั้น ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะทางกับค่าพิกเซลที่อ่านได้

Dependent Variable: PIXEL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	352.458(a)	3	117.486	8.895	.001
Intercept	6240.375	1	6240.375	472.457	.000
LENGHT	352.458	3	117.486	8.895	.001
Error	264.167	20	13.208		
Total	6857.000	24			
Corrected Total	616.625	23			

ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานได้มีการสร้างสมการจากค่าพิกเซลที่อ่านได้ตามระยะทางที่ได้กำหนดไว้ทั้งสี่ระยะทางและหกขนาดวงกลมสำหรับใช้อ้างอิง โดยนำค่าที่ได้ดังกล่าวซึ่งมีค่าเป็นพิกเซลที่ค่าต่างๆกัน ไปสร้างเป็นสมการเปรียบเทียบที่นำไปใช้งาน ได้ดังสมการที่ 12

$$S = \frac{Y + 0.468w - 13.56}{-0.005w + 0.931} \quad \dots (12)$$

เมื่อ

S คือ ขนาดของวงกลม

Y คือ จำนวน Pixel ที่ประมวลผลได้แทนค่าพื้นที่ภาพฉาย

w คือ ระยะห่างจากกล้องไปยังเป้าหมาย (w) เซนติเมตร

รายละเอียดการคำนวณและการสร้างสมการได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. จากนั้นนำสมการที่ได้ไปทดสอบใช้งานเพื่อหาความสัมพันธ์ของระยะทางกับขนาดอีกครั้ง ซึ่งจะได้ค่าออกมาเป็นหน่วยวัดทางความยาวคือมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร พร้อมกันนั้นยังได้คำนวณหาค่าความถูกต้องในการใช้สมการดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่แท้จริง ดังนี้

$$\text{ความถูกต้องในการอ่านค่า} = 1 - ((\text{ค่าจริง} - \text{ค่าที่อ่านได้}) / \text{ค่าจริง}) \times 100$$

ตารางที่ 16 ค่าจริงที่คำนวณได้และค่าความถูกต้องของการคำนวณ

ระยะทางของกล้อง (เซนติเมตร)	ขนาดวัตถุอ้างอิง / ค่าที่วัดได้ (มิลลิเมตร)					
	(ความถูกต้อง, (%))					
	25	28	30	32	35	40
50	24.7 (98.9)	27.7 (98.8)	30.6 (98.0)	32.1 (99.8)	35.0 (100.0)	37.9 (94.9)
45	24.8 (99.2)	27.6 (98.6)	29.0 (96.8)	33.3 (96.0)	36.1 (96.8)	40.4 (99.1)
40	24.8 (99.4)	27.6 (98.5)	28.9 (96.5)	33.1 (96.7)	35.8 (97.8)	39.9 (99.7)
35	24.9 (99.6)	27.5 (98.4)	30.2 (99.4)	32.8 (97.4)	35.5 (98.6)	38.1 (95.3)

ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 16 ซึ่งพบว่าค่าที่ถูกคำนวณกลับจากสมการ 12 เพื่อแปลงให้เป็นหน่วยวัดทางความยาวคือมิลลิเมตรนั้น มีค่าใกล้เคียงกันกับขนาดของวัตถุที่ใช้อ้างอิงและมีค่าความถูกต้องส่วนใหญ่เกินกว่า 96 % ในทุกๆระยะความห่างและทุกๆขนาดของวัตถุที่ใช้อ้างอิง

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดที่คำนวณได้เทียบกับระยะทาง

Dependent Variable: Size_M

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.741(a)	3	.247	.009	.999
Intercept	23921.220	1	23921.220	891.272	.000
LENGHT	.741	3	.247	.009	.999
Error	536.788	20	26.839		
Total	24458.750	24			
Corrected Total	537.530	23			

3. ผลการประเมินความถูกต้องของการคัดขนาด

เมื่อนำสมการที่ 12 มาทดสอบใช้งาน โดยการปรับระยะกล้องทั้ง 4 ระยะและขนาดของวัตถุที่ใช้อ้างอิงทั้ง 6 ขนาด ค่าที่คำนวณได้จากสมการมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งเป็นหน่วยวัดที่ได้เปรียบเทียบกับค่าแล้วจากหน่วยที่เป็นพิกเซล จากการทดสอบเก็บค่าตามเงื่อนไขต่างๆพบว่าค่าความแปรปรวนของระยะทางต่อขนาดที่คำนวณได้ของวัตถุอ้างอิงด้วยสมการที่ 12 นั้น ไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของวัตถุที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 17) ดังนั้นสามารถใช้สมการดังกล่าวไปใช้ในการทำสอบการหาขนาดของลำไยที่อยู่บนข้อได้ เมื่อนำสมการไปใช้งานจริง สามารถคำนวณและแสดงผลค่าความถูกต้องจากการอ่านขนาดของลำไยในข้อของระบบในตารางที่ 18 ถึง 22

ตารางที่ 18 ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบโดยไม่มีการจำแนกพันธุ์

Condition	Sizes		
	AA	A	B
Not overlapped	96.3 %	96.0 %	91.8 %
Overlapped	84.3 %	94.3 %	84.5%
All	92.7 %	95.6 %	90.7 %

จากตารางที่ 18 พบว่าความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบโดยไม่มีการจำแนกพันธุ์และแบ่งตามขนาด AA, A และ B นั้นในกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งหมดนั้น ระบบคัดแยกสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้อง 96.3 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 96.0 % และ 91.8 % ตามลำดับ ส่วนกรณีที่มีการบังกันของผลลำไยนั้นระบบจะสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้องคือ 84.3 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 94.3 % และ 84.5 % ตามลำดับ และถ้านับทั้งสองกรณีรวมกันจะได้ความถูกต้องของขนาด AA A และ B คือ 92.7 % 95.6 % และ 90.7 % ตามลำดับ

ตารางที่ 19 ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบของพันธุ์ดอ

Condition	Sizes		
	AA	A	B
Not overlapped	96.3 %	97.5 %	91.0 %
Overlapped	89.4 %	95.4 %	71.7 %
All	93.7 %	96.7 %	86.7 %

จากตารางที่ 19 พบว่าความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบของพันธุ์ดอ นั้นเมื่อแบ่งตามขนาด AA, A และ B ในกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งผลนั้น ระบบคัดแยกสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้อง 96.3 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 97.5 % และ 91.0 % ตามลำดับ ส่วนกรณีที่มีการบังกันของผลลำไยนั้นระบบจะสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้องคือ 89.4 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 95.4 % และ 71.7 % ตามลำดับ และถ้านับทั้งสองกรณีรวมกันจะได้ความถูกต้องของขนาด AA A และ B คือ 93.7 % 96.7 % และ 86.7 % ตามลำดับ

ตารางที่ 20 ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบของพันธุ์แห้ว

Condition	Sizes		
	AA	A	B
Not overlapped	97.8 %	96.1 %	91.8 %
Overlapped	77.7 %	95.4 %	94.8 %
All	91.2 %	95.9 %	92.1 %

จากตารางที่ 20 พบว่าความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบของพันธุ์แห้วนั้นเมื่อแบ่งตามขนาด AA, A และ B ในกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งผลนั้น ระบบคัดแยกสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้อง 97.8 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 96.1 % และ 91.8 % ตามลำดับ ส่วนกรณีที่มีการบังกันของผลลำไยนั้นระบบจะสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้องคือ 77.7 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 95.4 % และ 94.8 % ตามลำดับ และถ้านับทั้งสองกรณีรวมกันจะได้ความถูกต้องของขนาด AA A และ B คือ 91.2 % 95.9 % และ 92.1 % ตามลำดับ

ตารางที่ 21 ความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบของพันธุ์เป็ยวเขียว

Condition	Sizes		
	AA	A	B
Not overlapped	94.1%	94.9%	91.8 %
Overlapped	76.7 %	87.5 %	85.6 %
All	91.9 %	93.8 %	90.9 %

จากตารางที่ 21 พบว่าความถูกต้องของขนาดผลลำไยที่ตรวจพบของพันธุ์เป็ยวเขียวนั้นเมื่อแบ่งตามขนาด AA, A และ B ในกรณีแรกคือไม่มีการบังกันของผลลำไยหรือส่วนใดๆหรือสามารถมองเห็นผลลำไยได้ทั้งหมดนั้น ระบบคัดแยกสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้อง 94.1 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 94.9 % และ 91.8 % ตามลำดับ ส่วนกรณีที่มีการบังกันของผลลำไยนั้นระบบจะสามารถตรวจสอบพบแล้วประเมินขนาด AA ได้ถูกต้องคือ 76.7 % สำหรับขนาด A และ B ได้ความถูกต้องเป็น 87.5 % และ 85.6 % ตามลำดับ และถ้านับทั้งสองกรณีรวมกันจะได้ความถูกต้องของขนาด AA A และ B คือ 91.9 % 93.8 % และ 90.9 % ตามลำดับ และเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของลำไยข้อทั้งสามพันธุ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง จึงได้นำมาสรุปใหม่ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 22

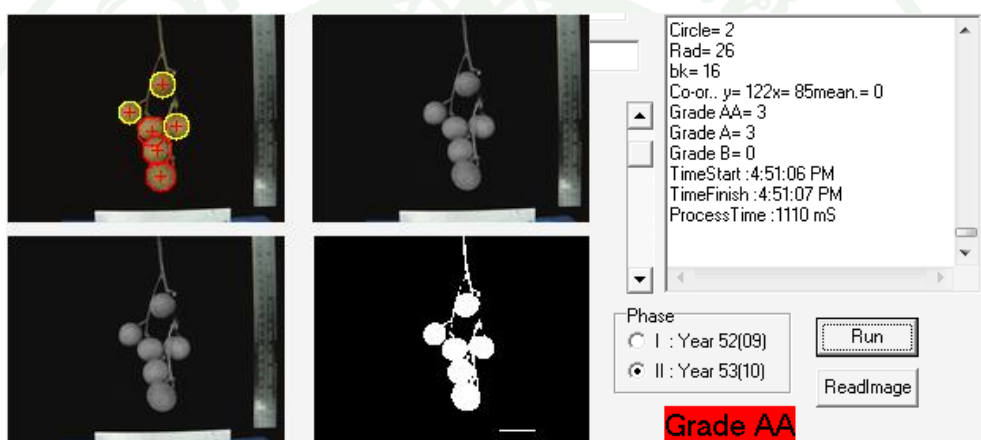
ตารางที่ 22 ความถูกต้องของขนาดผลลำไยทุกพันธุ์

Condition	Percentage of Accuracy (%)								
	ขนาดพันธุ์ดอ			ขนาดพันธุ์เป็ยวเขียว			ขนาดพันธุ์แห้ว		
	AA	A	B	AA	A	B	AA	A	B
Not overlapped	96.3	97.5	91.0	94.1	94.9	91.8	97.8	96.1	91.8
Overlapped	89.4	95.4	71.7	76.7	87.5	85.6	77.7	95.4	94.8
All	93.7	96.7	86.7	91.9	93.8	90.9	91.2	95.9	92.1

จากตารางที่ 22 พบว่าความถูกต้องของการประเมินขนาดของผลลำไยที่ตรวจพบส่วนใหญ่มีค่าความถูกต้องมากกว่า 90% ในกรณีที่ไม่มีการบังกันของผลลำไย แต่ก็มีบางกรณีที่ให้ความถูกต้องน้อยกว่าในกรณีของผลลำไยที่มีการบังกัน เหตุผลส่วนหนึ่งของค่าการตรวจสอบขนาดที่น้อยลง เพราะว่าการประมาณขอบของลำไยทำได้ยากกว่าเมื่อมีการบดบังจากผลลำไยเองหรืออาจจะถูกบังจากกิ่งหรือใบ เมื่อขอบของลำไยที่ประมาณได้ไม่มีความชัดเจนหรือคมชัดหรือบางส่วนอาจจะหายไป ทำให้ระบบไม่สามารถประเมินขนาดที่แท้จริงได้

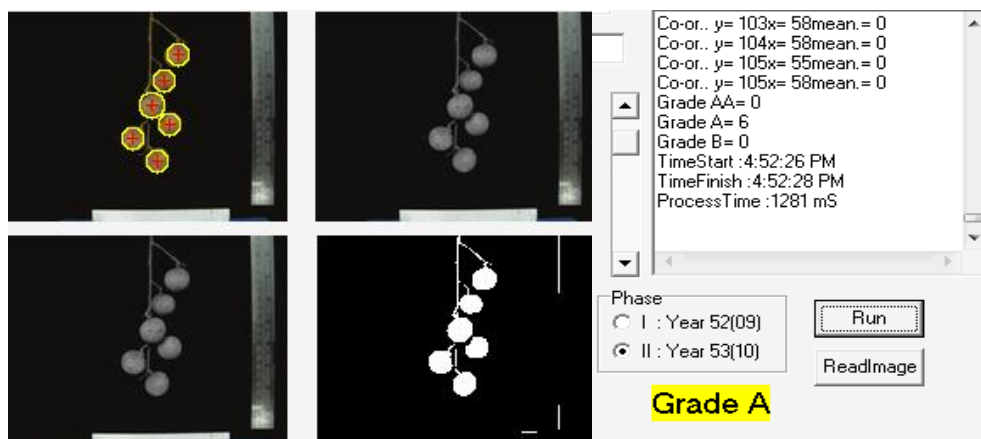
4. ผลการประเมินประสิทธิภาพการแยกลำไยแบบช่อ

เป็นการศึกษาและหาสมรรถนะของระบบการคัดแยกลำไยช่อเพื่อระบุเกรดของช่อลำไย โดยจะทำการคัดแยกเป็นช่อแบ่งตามพันธุ์ทั้งสามคือ พันธุ์ตอ พันธุ์แห้ว และพันธุ์เบ็ญจเขี้ยว ด้วยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น หน้าตาของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาดังแสดงในภาพที่ 63 และ 64 ประกอบด้วย หน้าต่างแสดงการคัดแยกช่อลำไย แบ่งเป็น หน้าต่างภาพสี หน้าต่างภาพเฉดเทา หน้าต่างภาพขาวดำ ฯลฯ หน้าต่างเหล่านี้ทำหน้าที่แสดง สถานะของภาพที่ได้ผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ หลังจากมีการประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลของผลลัพธ์จะถูกแสดงไว้ในหน้าต่างสรุปผล โดยแสดงเป็นข้อความสรุปในกล่องข้อความและโลโก้แสดงผล



ภาพที่ 63 ตัวอย่างการแสดงผลสถานะขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพในช่อขนาดเกรด AA

ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 63 สถานะของขั้นตอนการประมวลผลภาพ แสดงให้เห็นผลจากกระบวนการต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ ได้รูปช่อลำไยที่มีผลลำไยในช่อขนาดเกรด AA จำนวน 3 ผล (ถูกล้อมด้วยวงกลมสีแดง) และผลลำไยในช่อขนาดเกรด A จำนวน 3 ผล (ล้อมด้วยวงกลมสีเหลือง) ด้านขวาของภาพแสดงผลสรุปจากกระบวนการได้ ผลลำไยเกรด AA 3 ผล ผลลำไยเกรด A 3 ผล และผลลำไยเกรด B ไม่มี ช่อลำไยดังกล่าวถูกระบุเป็นช่อเกรด AA



ภาพที่ 64 ตัวอย่างการแสดงผลสถานะขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพในช่อขนาดเกรด A

ตัวอย่างช่อลำไยในภาพที่ 64 หลังจากกระบวนการประมวลผลเสร็จสิ้น ได้รูปช่อลำไยที่มีผลลำไยในช่อขนาดเกรด A จำนวน 6 ผล (ล้อมด้วยวงกลมสีเหลือง) ด้านขวาของภาพแสดงผลสรุปจากกระบวนการได้ ผลลำไยเกรด AA ไม่มี ผลลำไยเกรด A 6 ผล และผลลำไยเกรด B ไม่มี ช่อลำไยดังกล่าวถูกระบุเป็นช่อเกรด A กระบวนการที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้นำไปใช้กับช่อลำไยทั้ง 3 พันธุ์รวมทั้งสิ้น 140 ช่อ เมื่อนำไปหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของการคัดแยกแล้วได้ผลดังแสดงในตารางที่ 23 และ 24

ตารางที่ 23 แสดงประสิทธิภาพและสิ่งเจือปนในการคัดแยกขนาดผลลำไยช่อจำแนกตามพันธุ์

	พันธุ์ดอ	พันธุ์เปี้ยวเขียว	พันธุ์แก้ว
%การคัดถูกต้อง	72.0	73.7	73.1
%การคัดผิดพลาด	28.0	26.3	26.9

จากตารางที่ 23 ประสิทธิภาพของการคัดแยกเกรดของช่อลำไยทั้งสามพันธุ์นั้น ให้ค่าประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ระหว่าง 72-73 % และมีอัตราส่วนของสิ่งพบปนอยู่ระหว่าง 26-28% หรือประมาณ 1 ใน 4 ของช่อลำไยที่ใช้คัดแยก

5. ผลการประเมินผลและสมรรถนะของระบบ

เพื่อให้การประเมินการคัดประสิทธิภาพรวมของระบบมีความถูกต้องมากขึ้น จึงได้มีการกำหนด Weight function (W_i) เพราะว่ามีอัตราส่วนของช่อลำไยแต่ละเกรดที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีจำนวนช่อไม่เท่ากัน โดยกำหนดค่า W_i ของช่อเกรด AA A และ เป็น 0.5 0.3 และ 0.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 24 ประสิทธิภาพการคัดแยกชอลำไยทุกพันธุ์

Variables	Sizes			Total
	AA	A	B	
Correctly Sorted	40 (59)	50 (66)	12 (15)	102 (140)
P_{gi}	0.678	0.757	0.8	-
W_i	0.5	0.3	0.2	1.0
P_{wi}	0.339	0.227	0.160	0.726
T_s	244	287	68	599
Q_t	-	-	-	841.1

จากตารางที่ 24 ประสิทธิภาพของการคัดแยกเมื่อรวมทุกพันธุ์เข้าด้วยกัน จะได้ประสิทธิภาพอยู่ประมาณ 72.6 % และอัตราส่วนของสิ่งพบปนอยู่ประมาณ 1 ใน 4 ของชอลำไยที่ใช้คัดหรือประมาณ 27.4 % ในส่วนสมรรถนะการคัดแยกนั้น เวลาที่ใช้คัดในหนึ่งช่อจะอยู่ประมาณ 2-5 วินาที ทั้งนี้เวลาที่มากหรือน้อยในการประมวลผลจะขึ้นอยู่กับจำนวนผลลำไยในช่อและส่วนประกอบของชอลำไย เช่น จำนวนกิ่ง ใบ เป็นต้น เป็นสำคัญ ในกระบวนการนี้จะคิดเฉพาะเวลาในช่วง Process Time หรือช่วงเวลาที่ระบบเริ่มประมวลผลตั้งแต่ได้รับภาพจนกระทั่งประมวลผลเพื่อระบุขนาดของผลและเกรดของช่อเท่านั้น จะมีสมรรถนะของการคัดแยกอยู่ประมาณ 841 ช่อต่อชั่วโมง แต่ในความเป็นจริงระบบยังไม่ได้เป็น Fully automatic machine ดังนั้นจะมีช่วงเวลาที่ต้องใช้มือป้อนหรือหยิบชอลำไยไปวางยังตำแหน่งที่ระบุเพื่อถ่ายภาพ ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้นำเวลาส่วนนี้มาคิดคำนวณ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

กระบวนการประเมินขนาดผลลำไยในช่อด้วยเทคนิคการประมวลผล ได้อาศัยเทคนิค color threshold เพื่อลดผลกระทบจากของสิ่งรบกวนในฉากหลังของภาพได้เป็นอย่างดี เทคนิค erosion และ dilation ถูกนำมาใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวนอีกครั้งให้เหลือน้อยที่สุด กระบวนการหาขอบของภาพได้ใช้ canny edge detection เนื่องจากได้ความหนาของขอบภาพขนาดเพียง 1 พิกเซล และขั้นตอนในการหาดำแหน่งและประเมินขนาดได้พัฒนาเทคนิค circular Hough transform เพื่อตรวจสอบและประเมินขนาดผลลำไยในช่อ พบว่าผลการประเมินที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการหาขอบของภาพด้วย หากภาพมีขอบที่คมชัด ไม่ขาดหาย เทคนิค circular Hough transform สามารถตรวจพบผลลำไยได้มากกว่า 84% แต่หากขอบภาพไม่สมบูรณ์ เช่น เกิดมีผลลำไยบังกัน ส่งผลให้ขอบขาดหายไป ประสิทธิภาพการตรวจพบผลลำไยก็น้อยลงไป จากการทดลองพบว่าเงื่อนไขการวางตัวของผลลำไยส่งผลถึงการตรวจพบด้วยเช่นกัน โดยกรณีการวางตัวของผลลำไยไม่บังกัน ระบบสามารถสามารถตรวจพบมากกว่า 84% ความถูกต้องของขนาดเมื่อเทียบกับค่าจริงมากกว่า 90% ส่วนกรณีผลลำไยมีการบังกันระบบสามารถตรวจพบ 78% ความถูกต้องของขนาดประมาณ 80%

การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของการคัดแยกพบว่า กระบวนการในการประเมินขนาดผลลำไยในช่อเฉลี่ยคือ 1-1.5 วินาที เมื่อรวมกับกระบวนการจัดการภาพเบื้องต้น เช่น color threshold, gray image, binary image, erosion, dialtion และ canny edge detection ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 2 - 4 วินาที ทำให้ใช้เวลาในการประเมินต่อช่อคือ 3 -5.5 วินาที ส่งผลให้สมรรถนะของการคัดแยกในระบบนี้เป็น 841 ช่อต่อชั่วโมง ในขณะที่ประสิทธิภาพของการคัดแยกซึ่งใช้ข้อมูลจากการประเมินขนาดและการตรวจพบมาคำนวณพบว่าระบบให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกเป็น 72.6%

ข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ระบบการคัดแยกยังไม่ได้เป็นแบบ Fully automatic machine เพราะยังคงมีการป้อนวัตถุดิบด้วยมือคน ดังนั้นผลการทดลองยังคงมีอิทธิพลจากปัจจัยในเรื่องการวางช้อลลำไย ในเรื่องแสงช้อลลำไยยังถูกวางในกล่องควบคุมแสงทำให้แสงที่ได้ค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ แต่ในการทำงานจริงเราอาจจะไม่สามารถควบคุมสภาวะนี้ได้ นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากคุณภาพของกล้องและการ์ดแปลงสัญญาณด้วย ซึ่งในการทดลองได้ใช้กล้อง ccd ตามท้องตลาดทั่วไป ส่วนการ์ดแปลงสัญญาณได้เลือกใช้การ์ดรับสัญญาณทีวี อุปกรณ์ทั้งสองไม่ได้ถูกออกแบบมาใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านภาพประมวลผลภาพโดยตรงหากแต่เป็นเพียงการดัดแปลงเพื่อให้ใช้งานได้ตามสภาพและเป็นระบบต้นแบบเพื่อนำไปขยายผลและพัฒนาต่อไปในอนาคตซึ่งเป็นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้

ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งในงานวิจัยนี้คือ ผลการทดลองในตารางที่ 14 พบว่าขนาดวัตถุตัวอย่างที่คำนวณเป็นพิกเซลเทียบกับขนาดที่มีหน่วยมิลลิเมตรนั้นค่อนข้างไม่ละเอียด และบางช่วงไม่เป็นเชิงเส้น สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากความละเอียดของภาพน้อยเกินไป ในการทดลองนี้ได้ใช้ภาพขนาด 160 x 120 พิกเซลเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อต้องการความเร็วในการประมวลผล เนื่องจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ CPU AMD Sampron 2200+ RAM 768 MB Clock speed 400 MHz หากเพิ่มประสิทธิภาพคอมพิวเตอร์ได้ ก็สามารถเพิ่มความละเอียดของภาพในการประมวลผลได้

แต่อย่างไรก็ตามการคัดแยกผลลำไยบนช้อลด้วยเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพเป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถนำมาช่วยประเมินหรือคัดแยกแทนมนุษย์ และเป็นงานวิจัยต้นแบบสำหรับผู้ที่สนใจและต้องการนำไปพัฒนา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในด้านการพัฒนาเครื่องคัดแยกและเครื่องตัดแต่งช้อลลำไยหรือการคัดแยกผลไม้ช้อชนิดอื่นๆที่มีมูลค่าสูง ในโอกาสต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. **ลำไย**. แหล่งที่มา:

<http://www.doae.go.th/library/html/putsetakit/lamyai.pdf>, 26 มิถุนายน 2555.

บัณฑิต จริโมภาส, แก้วกานต์ บุญยะเพ็ญ และวิจิตร หงส์ศิริ. 2547. การศึกษาการวางตัวของผลลำไยสดในช่อที่สัมพันธ์กับมาตรฐานการคัดขนาดและบรรจุภัณฑ์, น. 308-314. ใน **รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5**. กรุงเทพฯ.

เรืองยศ ลาภบุญเรือง. 2531. **สัญญาณการงอกและควมมีชีวิตหลังการเก็บเกี่ยวของละอองเกสรมะม่วง ลิ้นจี่และลำไย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2556. **พระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551 (ฉบับที่ 2)**. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125-2556.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2546. **มาตรฐานลำไย**. มกอช.1 เล่ม 120-2546.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. **สินค้าเกษตรนำเข้า-ส่งออก**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php, 26 มิถุนายน 2556.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. **ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร**. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577, วันที่ 26 มิถุนายน 2556.

สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 จังหวัดเชียงใหม่ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. **พันธุ์ลำไย**. แหล่งที่มา: http://www.ndoae.doae.go.th/article2010/longan/longan_intro.html, ตุลาคม 2556.

สำนักส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 จังหวัดเชียงใหม่ กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. **โภชนาการลำไย**. แหล่งที่มา: http://www.ndoae.doae.go.th/article2010/longan/longan_nutrition.html, ตุลาคม 2556.

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2551. **เกษตรฯเปิดแผนบริหารจัดการตลาดลำไยปี 50**. แหล่งที่มา: <http://www.phtnet.org/news51/view-news.asp?nID=248>, พฤศจิกายน 2551.

Canny, J. F. 1986. A computational approach to edge detection. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**. 8: 679-698.

Chen, P., 1996. Quality evaluation technology for agricultural products. *In Proceeding of an Invited Paper presented in the International Conference of Agricultural Machinery Engineering*, 12–15 November 1996, Seoul, Korea, pp. 11.

Choong, T. S., Y. S. Abbas, A. R. Shariff, R. Halim, M. H. S. Ismail, R. Yunus, A. Salmiaton and A. Fakhrol-Razi. 2006. Digital Image Processing of Palm Oil Fruits. **International Journal of Food Engineering**. 2(2): 7.

Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 2002. *In Digital Image Processing, 2nd Ed.*, pp.523-528., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Guo F. and Q.Cao. 2004. Study on Color Image Processing Based Intelligent Fruit Sorting System, pp. 4802-4805. *In Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*. 15-19 June 2004, Hangzhou, P.R. China

Jiménez, A. R., R. Ceres and J. L. Pons. 2000. A survey of computer vision methods for locating fruit on trees. **Transactions of the ASAE**. 43:1911-1920.

Litwiller, D. 2001. **CCD vs. CMOS: Facts and Fiction**. Available Source: <http://cowboyfrank.net/webcams/CcdCmos.htm>. January, 2014

Milan S., V. Hlavac and R. Boyle. 1998. *In Image Processing, Analysis, and Machine Vision, 2nd Ed.* pp.127-130. PWS Publishing, Pacific Grove, CA.

Mohamed, R., H. Yazid, P Saad, A.Y.M. Shakaff, S.Yaacob, A.R.M. Saad and M. Sugisaka. 2005. Object Detection using Circular Hough Transform. **American Journal of Applied Sciences**. 2 (12):1606-1609.

Paull, R. E. and N. J. Chen. 1987. Changes in longan and rambutan during postharvest storage. **Horticultural Science**. 22:1303-1304.

Pedersen, S.J.K., 2007. **Circular Hough Transform**. Vision, Graphics, and Interactive Systems, Aalborg University.

Peleg, K. 1985. In **Produce Handling, Packaging and Distribution**. p.567. AVI Publications, Westport, CT.

Qingzhong, L., M. Wang and W. Gua. 2002. Computer vision based system for apple surface defect detection. **Journal of Computers and Electronics in Agriculture**. 36:215-223

Slaughter, D. C. and R. C. Harrell. 1989. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes. **Transactions of the ASAE**. 32:757-763.

Vaysse, P., G. Grenier, O. Laviolle, G. Henry, G. Khay-Ibbat, C. Germain and J. P. Da Costa. 2005. Image processing as a tool for quality assessment of fruits in bulk shipping bins, pp. 381-388. *In Proceedings of Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production*. 12-16 September 2005, Montpellier, France.

Whittaker, D., G. E. Miles, O. R. Mitchell and L. D. Gaultney. 1987. Fruit location in a partially occluded image. **Transactions of the ASABE**. 30:591-596.

Zhao, J., J. Tow and J. Katupitiya. 2005. On-tree fruit recognition using texture properties and color data, pp.263-268. *In Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2-6 August 2005, Alberta, Canada.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.

สมการการปรับเทียบของขนาดวงกลมขนาดต่างๆที่ใช้อ้างอิงต่อระยะห่างของกล้องระยะต่างๆ

ในการทดลองหาความสัมพันธ์จากระยะของกล้องถ่ายภาพไปยังวัตถุเป้าหมายขนาดต่างๆ เพื่อหาสมการเชิงเส้นของแต่ละระยะและแต่ละขนาดของวงกลม โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 ประมวลผลการทดลอง ได้แนวโน้มความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างวงกลมที่ใช้อ้างอิงที่ใช้ในการทดลองทั้ง 6 ขนาด กับระยะห่างทั้ง 4 ระยะ โดยสมการความสัมพันธ์ของขนาดวงกลมที่ใช้อ้างอิงต่อระยะห่าง เป็นดังนี้

วงกลมที่ใช้อ้างอิงขนาด 25 มิลลิเมตรได้สมการเป็น	$-0.6X - 37$	$R^2 = 1$... (A1)
วงกลมที่ใช้อ้างอิงขนาด 28 มิลลิเมตรได้สมการเป็น	$-0.6X - 39$	$R^2 = 1$... (A2)
วงกลมที่ใช้อ้างอิงขนาด 30 มิลลิเมตรได้สมการเป็น	$-0.6X - 39.9$	$R^2 = 0.98$... (A3)
วงกลมที่ใช้อ้างอิงขนาด 32 มิลลิเมตรได้สมการเป็น	$-0.66X - 45.3$	$R^2 = 0.99$... (A4)
วงกลมที่ใช้อ้างอิงขนาด 35 มิลลิเมตรได้สมการเป็น	$-0.66X - 47.3$	$R^2 = 0.99$... (A5)
วงกลมที่ใช้อ้างอิงขนาด 40 มิลลิเมตรได้สมการเป็น	$-0.66X - 49.8$	$R^2 = 0.96$... (A6)

นำสมการข้างต้นทั้ง 6 สมการไปหาความสัมพันธ์กับขนาดของวงกลมที่ใช้อ้างอิงด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2007 สมการที่ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ให้กลุ่มแรกแทนพจน์หลังของสมการ A1-A6 และ กลุ่มที่สองแทนพจน์แรกของ สมการ 1-6 ได้ดังนี้

$$B = 0.931s + 13.56 \quad \dots (A7)$$

$$A = -0.005s - 0.468 \quad \dots (A8)$$

เมื่อ s คือ ขนาดของวงกลมที่ใช้อ้างอิงในการทดลอง

นำทั้งสองสมการข้างต้น (A7 กับ A8) แทนค่าสมการภายใต้เงื่อนไขของระยะห่างของกล้องระยะต่างๆ ได้ผลดังนี้

สมมติ สมการ A1-A6 ให้มีโครงสร้างดังนี้

$$Y = AX + B \quad \dots (A9)$$

เมื่อ Y คือ จำนวน Pixel ที่ประมวลผลได้แทนค่าพื้นที่ภาพฉาย

X คือ ระยะห่างจากกล้องไปยังเป้าหมาย (w) เซนติเมตร

A และ B คือ สมการที่ A8 กับ A7 ตามลำดับ

แทนค่า A,B ในสมการโครงสร้าง ได้ค่าเป็นดังนี้

$$Y = (-0.005s - 0.468)w + (0.931s + 13.56)$$

$$= -0.005sw - 0.468w + 0.931s + 13.56$$

จัดกลุ่มใหม่เพื่อหาค่า s

$$(-0.005w + 0.931)s = Y + 0.468w - 13.56$$

$$S = \frac{Y + 0.468w - 13.56}{-0.005w + 0.931} \quad \dots (A10)$$

ได้สมการที่ A10 เป็นสมการในการขนาดผลล้าไยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร





ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเจือปนของระบบการคัดผลลำไยพันธุ์เขียวเขียว

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเนื้อปนของระบบการคัดผลลำไยพันธุ์เบ็ญเขียว

ข้อ ที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
A1	1	1	0	1	28	25.5	91.2	A	B	A	A
	2	2	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	3	3	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA		
	4	4	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	5	5	0	1	28	28.6	97.7	A	A		
A2	1	6	0	1	28	24.0	85.6	A	B	A	AA
	2	7	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	3	8	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA		
	4	9	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	5	10	0	1	28	27.1	96.7	A	A		
A3	1	11	0	1	28	30.2	92.2	A	AA	A	AA
	2	12	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	3	13	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA		
	4	14	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	5	15	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
A4	1	16	0	1	28	27.1	96.7	A	A	A	A
	2	17	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA		
	3	18	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	4	19	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA		
	5	20	0	1	28	27.1	96.7	A	A		
A5	1	21	0	1	28	27.1	96.7	A	A	A	A
	2	22	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA		
	3	23	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	4	24	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA		
	5	25	0	1	28	28.6	97.7	A	A		
A6	1	26	0	1	25	27.1	91.7	B	A	AA	AA
	2	27	0	1	29	31.8	90.5	A	AA		
	3	28	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	4	29	0	1	30	25.5	85.1	AA	B		
A7	1	30	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA	A	AA

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ข้อ ที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	2	31	1	1	28	25.5	91.2	A	B		
	3	32	0	1	28	27.1	96.7	A	A		
	4	33	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	5	34	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
A8	1	35	0	1	26	25.5	98.2	B	B	A	A
	2	36	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	3	37	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	4	38	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	5	39	0	1	28	30.2	92.2	A	AA		
	6	40	0	1	27	28.6	93.9	A	A		
	7	41	1	1	28	24.0	85.6	A	B		
	8	42	0	1	26	27.1	95.8	B	A		
	9	43	0	1	25	25.5	97.9	B	B		
	10	44	0	1	26	27.1	95.8	B	A		
A9	1	45	0	1	26	27.1	95.8	B	A	A	A
	2	46	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	3	47	1	1	28	20.8	74.5	A	B		
	4	48	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	5	49	0	1	28	31.8	86.6	A	AA		
	6	50	0	1	27	28.6	93.9	A	A		
	7	51	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	8	52	0	1	26	33.3	71.9	B	AA		
	9	53	0	0	25	0.0	0.0	B	F		
	10	54	0	1	26	25.5	98.2	B	B		
A10	1	55	0	1	28	27.1	96.7	A	A	A	A
	2	56	0	1	30	27.1	90.3	AA	A		
	3	57	0	1	26	0.0	0.0	B	F		
	4	58	1	1	27	27.1	99.7	A	A		
	5	59	0	1	25	28.6	85.4	B	A		
	4	60	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	7	61	1	1	28	25.5	91.2	A	B		
A11	1	62	0	1	26	27.1	95.8	B	A	A	A
	2	63	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	3	64	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	4	65	0	1	28	31.8	86.6	A	AA		
	5	66	0	1	27	27.1	99.7	A	A		
	6	67	0	1	26	28.6	89.9	B	A		
	7	68	1	1	28	24.0	85.6	A	B		
	8	69	0	0	25	0.0	0.0	B	F		
	9	70	0	1	26	27.1	95.8	B	A		
A12	1	71	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA	AA	AA
	2	72	1	1	33	28.6	86.8	AA	A		
	3	73	0	1	31	30.2	97.4	AA	AA		
	4	74	0	1	23	24.0	95.8	B	B		
A13	1	75	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA	AA	AA
	2	76	0	1	33	31.8	96.2	AA	AA		
	3	77	0	1	31	30.2	97.4	AA	AA		
	4	78	0	1	23	25.5	89.0	B	B		
A14	1	79	0	1	30	28.6	95.5	AA	A	AA	AA
	2	80	0	1	33	30.2	91.5	AA	AA		
	3	81	0	1	31	30.2	97.4	AA	AA		
	4	82	0	1	23	25.5	89.0	B	B		
A15	1	83	0	1	22	24.0	91.1	B	B	B	B
	2	84	1	1	29	20.8	71.9	A	B		
	3	85	1	0	22	0.0	0.0	B	F		
	4	86	0	1	25	27.1	91.7	B	A		
	5	87	0	1	28	25.5	91.2	A	B		
	6	88	0	1	27	25.5	94.5	A	B		
	7	89	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	8	90	0	1	26	27.1	95.8	B	A		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	9	91	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	10	92	0	1	26	27.1	95.8	B	A		
A16	1	93	0	1	28	30.2	92.2	A	AA	B	A
	2	94	0	1	22	27.1	76.9	B	A		
	3	95	0	1	25	28.6	85.4	B	A		
	4	96	0	1	21	24.0	85.9	B	B		
	5	97	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	6	98	0	0	27	0.0	0.0	A	F		
	7	99	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	8	100	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
A17	1	101	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA	A	AA
	2	102	0	1	29	30.2	95.9	A	AA		
	3	103	1	1	28	31.8	86.6	A	AA		
	4	104	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	5	105	1	1	30	25.5	85.1	AA	B		
	6	106	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	7	107	0	1	27	25.5	94.5	A	B		
A18	1	108	0	1	30	31.8	94.2	AA	AA	AA	AA
	2	109	0	1	29	30.2	95.9	A	AA		
	3	110	0	1	28	30.2	92.2	A	AA		
	4	111	1	1	30	20.8	69.5	AA	B		
	5	112	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	6	113	0	1	27	25.5	94.5	A	B		
A19	1	114	0	1	28	25.5	91.2	A	B	A	A
	2	115	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	3	116	0	1	28	30.2	92.2	A	AA		
	4	117	0	1	29	30.2	95.9	A	AA		
	5	118	0	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	6	119	1	1	29	25.5	88.0	A	B		
	7	120	0	1	29	28.6	98.8	A	A		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ชื่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
A20	1	121	0	1	28	27.1	96.7	A	A	A	A
	2	122	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
A21	1	123	0	1	26	25.5	98.2	B	B	B	B
	2	124	0	1	25	25.5	97.9	B	B		
	3	125	0	1	26	25.5	98.2	B	B		
	4	126	0	1	28	28.6	97.7	A	A		
A22	1	127	0	1	26	25.5	98.2	B	B	B	B
	2	128	0	1	25	24.0	95.9	B	B		
	3	129	0	1	26	25.5	98.2	B	B		
	4	130	0	1	28	28.6	97.7	A	A		
	5	131	0	1	28	27.1	96.7	A	A		
A23	1	132	1	1	25	25.5	97.9	B	B	B	B
	2	133	1	1	26	25.5	98.2	B	B		
	3	134	0	1	26	25.5	98.2	B	B		
	4	135	0	1	28	30.2	92.2	A	AA		
	5	136	0	1	28	27.1	96.7	A	A		
A24	1	137	0	1	26	27.1	95.8	B	A	A	A
	2	138	0	1	27	27.1	99.7	A	A		
	3	139	0	1	27	24.0	88.8	A	B		
	4	140	0	1	28	28.6	97.7	A	A		
	5	141	0	1	28	22.4	80.0	A	B		
	6	142	0	1	29	31.8	90.5	A	AA		
	7	143	0	1	27	25.5	94.5	A	B		
	8	144	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	9	145	0	1	27	27.1	99.7	A	A		
	10	146	0	1	25	24.0	95.9	B	B		
A25	1	147	0	1	26	24.0	92.2	B	B	A	B
	2	148	0	1	27	27.1	99.7	A	A		
	3	149	0	1	27	25.5	94.5	A	B		
	4	150	0	1	28	27.1	96.7	A	A		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	5	151	0	1	28	27.1	96.7	A	A		
	6	152	0	1	29	25.5	88.0	A	B		
	7	153	0	0	27	0.0	0.0	A	F		
	8	154	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	9	155	0	1	27	25.5	94.5	A	B		
	10	156	0	1	25	24.0	95.9	B	B		
A26	1	157	0	0	25	0.0	0.0	B	F	B	B
	2	158	0	1	27	27.1	99.7	A	A		
	3	159	1	1	26	25.5	98.2	B	B		
	4	160	0	1	26	25.5	98.2	B	B		
	5	161	1	1	26	22.4	86.2	B	B		
	6	162	0	1	25	25.5	97.9	B	B		
	7	163	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	8	164	0	1	28	28.6	97.7	A	A		
A27	1	165	0	1	25	30.2	79.2	B	AA	B	B
	2	166	1	0	26	0.0	0.0	B	F		
	3	167	1	1	26	20.8	80.2	B	B		
	4	168	0	1	26	28.6	89.9	B	A		
	5	169	0	1	27	25.5	94.5	A	B		
A28	1	170	0	1	28	27.1	96.7	A	A	AA	A
	2	171	0	1	30	28.6	95.5	AA	A		
A29	1	172	0	1	24	24.0	99.9	B	B	B	B
	2	173	0	1	24	24.0	99.9	B	B		
	3	174	0	1	30	27.1	90.3	AA	A		
	4	175	0	1	25	27.1	91.7	B	A		
	5	176	0	1	24	20.8	86.9	B	B		
	6	177	1	1	25	22.4	89.6	B	B		
	7	178	0	1	23	24.0	95.8	B	B		
	8	179	0	0	24	0.0	0.0	B	F		
A30	1	180	0	1	24	22.4	93.4	B	B	B	B

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	2	181	0	1	24	25.5	93.7	B	B		
	3	182	0	1	30	27.1	90.3	AA	A		
	4	183	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	5	184	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	6	185	0	1	24	24.0	99.9	B	B		
	7	186	1	1	25	25.5	97.9	B	B		
	8	187	0	1	23	24.0	95.8	B	B		
	9	188	0	1	24	25.5	93.7	B	B		
A31	1	189	0	1	24	22.4	93.4	B	B	B	B
	2	190	0	0	24	0.0	0.0	B	F		
	3	191	0	1	30	25.5	85.1	AA	B		
	4	192	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	5	193	0	1	24	24.0	99.9	B	B		
	6	194	1	1	25	22.4	89.6	B	B		
	7	195	1	1	25	27.1	91.7	B	A		
	8	196	0	1	23	24.0	95.8	B	B		
	9	197	0	1	24	25.5	93.7	B	B		
A32	1	198	0	1	30	25.5	85.1	AA	B	AA	B
	2	199	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	3	200	0	1	26	25.5	98.2	B	B		
	4	201	0	1	30	30.2	99.3	AA	AA		
	5	202	0	1	25	22.4	89.6	B	B		
	6	203	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	7	204	0	1	24	25.5	93.7	B	B		
	8	205	1	1	31	20.8	67.3	AA	B		
	9	206	1	1	31	22.4	72.3	AA	B		
	10	207	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	11	208	1	1	28	24.0	85.6	A	B		
	12	209	0	0	25	0.0	0.0	B	F		
	13	210	0	1	32	25.5	79.8	AA	B		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด คัด ได้	เกรด ช่อ	เกรด คัด
	14	211	1	1	32	25.5	79.8	AA	B		
A33	1	212	1	0	31	0.0	0.0	AA	F	B	AA
	2	213	0	1	30	34.9	83.8	AA	AA		
	3	214	0	1	26	30.2	83.9	B	AA		
	4	215	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	5	216	0	1	29	31.8	90.5	A	AA		
	6	217	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	7	218	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	8	219	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	9	220	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	10	221	1	0	24	0.0	0.0	B	F		
	11	222	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
A34	1	223	1	0	29	0.0	0.0	A	F	AA	AA
	2	224	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	3	225	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	4	226	0	0	24	0.0	0.0	B	F		
	5	227	0	1	25	24.0	95.9	B	B		
	6	228	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	7	229	0	0	25	0.0	0.0	B	F		
	8	230	0	1	27	28.6	93.9	A	A		
	9	231	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	10	232	0	1	32	31.8	99.2	AA	AA		
	11	233	1	1	28	25.5	91.2	A	B		
	12	234	0	1	32	30.2	94.4	AA	AA		
A35	1	235	0	0	29	0.0	0.0	A	F	AA	A
	2	236	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	3	237	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	4	238	0	1	26	24.0	92.2	B	B		
	5	239	0	1	29	25.5	88.0	A	B		
	6	240	0	0	24	0.0	0.0	B	F		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	7	241	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	8	242	1	1	31	25.5	82.3	AA	B		
	9	243	0	1	27	27.1	99.7	A	A		
	10	244	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	11	245	0	1	25	28.6	85.4	B	A		
	12	246	1	1	28	22.4	80.0	A	B		
	13	247	0	1	32	30.2	94.4	AA	AA		
	14	248	0	1	32	27.1	84.6	AA	A		
A36	1	249	0	1	26	27.1	95.8	B	A	B	B
	2	250	0	1	25	25.5	97.9	B	B		
	3	251	0	1	24	25.5	93.7	B	B		
	4	252	1	1	26	30.2	83.9	B	AA		
	5	253	0	0	23	0.0	0.0	B	F		
	6	254	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	7	255	0	1	23	25.5	89.0	B	B		
	8	256	1	0	21	0.0	0.0	B	F		
	9	257	1	1	25	22.4	89.6	B	B		
	10	258	0	1	23	25.5	89.0	B	B		
	11	259	0	1	22	24.0	91.1	B	B		
	12	260	1	1	29	28.6	98.8	A	A		
	13	261	1	0	23	0.0	0.0	B	F		
	14	262	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	15	263	1	1	26	20.8	80.2	B	B		
	16	264	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	17	265	0	1	21	24.0	85.9	B	B		
	18	266	1	1	22	22.4	98.2	B	B		
	19	267	0	1	29	30.2	95.9	A	AA		
	20	268	0	1	26	28.6	89.9	B	A		
A37	1	269	0	1	26	25.5	98.2	B	B	B	B
	2	270	0	1	26	30.2	83.9	B	AA		

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	3	271	0	1	24	28.6	80.7	B	A		
	4	272	0	1	25	24.0	95.9	B	B		
	5	273	1	1	25	27.1	91.7	B	A		
	6	274	0	1	22	25.5	84.0	B	B		
	7	275	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	8	276	0	1	23	25.5	89.0	B	B		
	9	277	0	1	23	30.2	68.7	B	AA		
	10	278	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	11	279	0	1	21	22.4	93.3	B	B		
	12	280	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	13	281	1	1	29	27.1	93.4	A	A		
	14	282	1	0	26	0.0	0.0	B	F		
A38	1	283	0	1	26	27.1	95.8	B	A	B	B
	2	284	0	1	23	22.4	97.4	B	B		
	3	285	0	1	24	25.5	93.7	B	B		
	4	286	1	0	26	0.0	0.0	B	F		
	5	287	0	0	23	0.0	0.0	B	F		
	6	288	1	1	25	24.0	95.9	B	B		
	7	289	0	1	22	28.6	69.8	B	A		
	8	290	0	1	23	25.5	89.0	B	B		
	9	291	1	0	21	0.0	0.0	B	F		
	10	292	0	0	23	0.0	0.0	B	F		
	11	293	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	12	294	1	0	22	0.0	0.0	B	F		
	13	295	0	1	29	28.6	98.8	A	A		
	14	296	1	0	26	0.0	0.0	B	F		
	15	297	1	0	25	0.0	0.0	B	F		
	16	298	0	1	21	24.0	85.9	B	B		
	17	299	0	1	29	27.1	93.4	A	A		
	18	300	0	1	26	30.2	83.9	B	AA		

หมายเหตุ สถานะ
การตรวจเจอ

0=ผลลำไยไม่บังกัน
0=ไม่เจอ

1=ผลลำไยบังกัน
1=เจอ

ตารางผนวกที่ ข2 ประสิทธิภาพการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์เบ็ญเขียว

P_{g1}	C_{21}	C_{31}	P_{g2}	C_{12}	C_{32}	P_{g3}	C_{13}	C_{23}
6	2	1	10	4	1	12	1	1

- เมื่อ A1 – A38 คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียว ลำดับที่ 1 – 38
 P_{g1} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด AA ที่คัดถูกต้อง
 C_{21} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด AA ที่คัดผิดเป็นเกรด A
 C_{31} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด AA ที่คัดผิดเป็นเกรด B
 P_{g2} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด A ที่คัดถูกต้อง
 C_{12} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด A ที่คัดผิดเป็นเกรด AA
 C_{32} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด A ที่คัดผิดเป็นเกรด B
 P_{g3} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด B ที่คัดถูกต้อง
 C_{13} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด B ที่คัดผิดเป็นเกรด AA
 C_{23} คือ ลำไยข้อพันธุ์เบ็ญเขียวเกรด B ที่คัดผิดเป็นเกรด A

ตารางผนวกที่ ข3 สมรรถนะของระบบการคัดขนาดขอลำไยพันธุ์เบ็ญเขียว

G	P	C	Ew	Cr	Ts	Q
38	28	10	73.7	26.3	162	844

- เมื่อ G คือ จำนวนขอลำไยที่ใช้ในการคัดขนาด
P คือ ขอลำไยที่คัดได้ถูกต้อง
C คือ ขอลำไยที่คัดผิดพลาด
Cr คือ สัดส่วนของขอลำไยที่คัดผิดพลาด
Ew คือ ประสิทธิภาพในการคัด
Ts คือ เวลาที่ใช้ในแต่ละซ้ำการทดลอง
Q คือ สมรรถนะ (ขอลำไย/ชั่วโมง)



ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเจือปนของระบบการคัดผลลำไยพันธุ์แก้ว

ตารางผนวกที่ ค1 ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเนื้อปนของระบบการคัดผลลำไยพันธุ์แก้ว

ข้อ ที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด คัดได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
B1	1	1	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA	AA	AA
	2	2	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
	3	3	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	4	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	5	5	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	6	6	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	7	7	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	8	8	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	9	9	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
B2	1	10	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA	AA	AA
	2	11	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	12	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	4	13	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	5	14	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	6	15	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	7	16	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	8	17	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	9	18	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	10	19	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	11	20	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
B3	1	21	0	1	28	27.3	97.6	A	A	A	A
	2	22	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	23	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	4	24	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	5	25	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
B4	1	26	1	1	29	27.3	94.3	A	A	A	AA
	2	27	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	28	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	29	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	5	30	0	0	28	0.0	0.0	A	F		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ข้อ ที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	6	31	1	1	28	30.9	89.6	A	AA		
	7	32	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	8	33	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	9	34	0	0	27	0.0	0.0	A	F		
B5	1	35	1	1	28	28.5	98.1	A	A	A	A
	2	36	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	37	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	38	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	5	39	1	1	28	26.1	93.4	A	B		
	6	40	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
B6	1	41	0	1	29	29.7	97.5	A	AA	A	A
	2	42	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	43	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	44	1	0	20	0.0	0.0	B	F		
	5	45	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	6	46	0	0	27	0.0	0.0	A	F		
	7	47	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	8	48	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	9	49	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	10	50	0	1	28	29.7	93.8	A	AA		
B7	1	51	0	1	28	27.3	97.6	A	A	A	A
	2	52	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	53	0	1	27	27.3	98.7	A	A		
	4	54	0	1	26	27.3	94.9	B	A		
	5	55	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
	6	56	0	1	27	27.3	98.7	A	A		
B8	1	57	0	1	28	28.5	98.1	A	A	A	A
	2	58	1	1	26	27.3	94.9	B	A		
	3	59	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	4	60	0	1	27	30.9	85.5	A	AA		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด คัดได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
	5	61	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	6	62	0	1	27	28.5	94.3	A	A		
B9	1	63	0	0	29	0.0	0.0	A	F	A	AA
	2	64	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	65	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
	4	66	1	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	5	67	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	6	68	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	7	69	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	8	70	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	9	71	1	1	28	30.9	89.6	A	AA		
B10	1	72	0	0	26	0.0	0.0	B	F	B	A
	2	73	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	74	0	1	25	27.3	90.6	B	A		
B11	1	75	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA	AA	AA
	2	76	1	1	32	28.5	89.2	AA	A		
	3	77	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	4	78	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	5	79	1	1	31	32.1	96.4	AA	AA		
	6	80	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	7	81	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
B12	1	82	0	1	27	28.5	94.3	A	A	A	AA
	2	83	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	3	84	1	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	4	85	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	5	86	0	1	28	29.7	93.8	A	AA		
	6	87	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	7	88	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
	8	89	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	9	90	1	0	28	0.0	0.0	A	F		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
B13	1	91	0	1	28	28.5	98.1	A	A	AA	AA
	2	92	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	93	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	94	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	5	95	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	6	96	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
B14	1	97	1	0	31	0.0	0.0	AA	F	AA	AA
	2	98	0	1	28	30.9	89.6	A	AA		
	3	99	1	1	31	32.1	96.4	AA	AA		
	4	100	0	0	32	0.0	0.0	AA	F		
	5	101	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	6	102	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	7	103	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
B15	1	104	1	0	27	0.0	0.0	A	F	A	A
	2	105	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	3	106	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	107	0	1	29	32.1	89.3	A	AA		
	5	108	1	1	29	26.1	90.2	A	B		
	6	109	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	7	110	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
B16	1	111	1	0	28	0.0	0.0	A	F	A	A
	2	112	0	1	27	29.7	89.9	A	AA		
	3	113	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	114	1	1	28	29.7	93.8	A	AA		
	5	115	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	6	116	0	1	26	27.3	94.9	B	A		
B17	1	117	0	1	28	27.3	97.6	A	A	A	A
	2	118	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	119	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	120	0	0	28	0.0	0.0	A	F		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	5	121	0	1	28	30.9	89.6	A	AA		
	6	122	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	7	123	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
B18	1	124	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	125	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	126	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	4	127	1	1	28	28.5	98.1	A	A		
	5	128	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	6	129	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
B19	1	130	1	0	27	0.0	0.0	A	F	A	AA
	2	131	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	3	132	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	133	1	1	28	30.9	89.6	A	AA		
	5	134	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	6	135	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
B20	1	136	0	1	26	28.5	90.3	B	A	AA	AA
	2	137	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	138	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	139	1	1	27	26.1	96.8	A	B		
	5	140	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	6	141	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
B21	1	142	0	1	29	29.7	97.5	A	AA	A	A
	2	143	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	144	1	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	145	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	5	146	1	0	21	0.0	0.0	B	F		
	6	147	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	7	148	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	8	149	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	9	150	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
B22	1	151	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	152	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	153	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	154	0	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	5	155	0	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	6	156	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	7	157	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
B23	1	158	0	0	27	0.0	0.0	A	F	A	A
	2	159	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	160	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	161	0	1	28	29.7	93.8	A	AA		
	5	162	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	6	163	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
B24	1	164	0	1	29	30.9	93.4	A	AA	A	A
	2	165	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	3	166	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	4	167	0	1	26	27.3	94.9	B	A		
	5	168	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
B25	1	169	0	1	28	29.7	93.8	A	AA	A	AA
	2	170	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	171	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	4	172	1	0	26	0.0	0.0	B	F		
	5	173	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	6	174	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	7	175	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	8	176	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	9	177	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
B26	1	178	1	1	29	30.9	93.4	A	AA	A	A
	2	179	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	180	0	0	29	0.0	0.0	A	F		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	4	181	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	5	182	1	1	28	29.7	93.8	A	AA		
	6	183	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	7	184	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
B27	1	185	1	1	31	27.3	88.2	AA	A	AA	AA
	2	186	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	3	187	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	4	188	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	5	189	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	6	190	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	7	191	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
B28	1	192	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	193	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	194	0	1	27	28.5	94.3	A	A		
	4	195	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	5	196	0	0	23	0.0	0.0	B	F		
B29	1	197	0	1	28	28.5	98.1	A	A	A	A
	2	198	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	3	199	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	4	200	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	5	201	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	6	202	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
B30	1	203	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	204	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	3	205	0	1	27	28.5	94.3	A	A		
	4	206	1	1	25	27.3	90.6	B	A		
	5	207	0	1	29	33.3	85.1	A	AA		
B31	1	208	0	1	28	27.3	97.6	A	A	A	A
	2	209	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	3	210	0	1	27	27.3	98.7	A	A		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด คัด ได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
	4	211	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	5	212	0	1	28	29.7	93.8	A	AA		
	6	213	1	1	28	32.1	85.3	A	AA		
	7	214	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	8	215	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
B32	1	216	1	1	29	29.7	97.5	A	AA	A	AA
	2	217	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	218	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
	4	219	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
B33	1	220	0	1	30	28.5	95.1	AA	A	A	A
	2	221	0	1	27	29.7	89.9	A	AA		
	3	222	1	1	28	26.1	93.4	A	B		
	4	223	0	1	28	26.1	93.4	A	B		
B34	1	224	1	1	30	27.3	91.1	AA	A	AA	AA
	2	225	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	226	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	227	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	5	228	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	6	229	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
B35	1	230	1	1	30	28.5	95.1	AA	A	A	A
	2	231	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	232	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	233	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	5	234	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	6	235	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	7	236	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	8	237	1	1	29	26.1	90.2	A	B		
	9	238	0	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	10	239	1	1	27	27.3	98.7	A	A		
	11	240	0	1	27	29.7	89.9	A	AA		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
B36	1	241	0	0	29	0.0	0.0	A	F	A	A
	2	242	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	243	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	4	244	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	5	245	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	6	246	1	1	28	28.5	98.1	A	A		
	7	247	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	8	248	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
B37	1	249	1	1	29	28.5	98.4	A	A	A	AA
	2	250	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	251	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	4	252	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	5	253	0	1	28	32.1	85.3	A	AA		
	6	254	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
B38	1	255	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	256	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	257	1	1	28	25.0	89.1	A	B		
	4	258	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
B39	1	259	0	1	33	28.5	86.5	AA	A	AA	A
	2	260	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	3	261	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	4	262	0	1	23	27.3	81.1	B	A		
	5	263	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	6	264	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	7	265	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	8	266	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
B40	1	267	0	1	28	27.3	97.6	A	A	A	A
	2	268	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	269	0	1	27	27.3	98.7	A	A		
	4	270	0	1	28	32.1	85.3	A	AA		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	5	271	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	6	272	1	1	28	28.5	98.1	A	A		
B41	1	273	0	1	28	27.3	97.6	A	A	A	A
	2	274	1	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	275	1	1	27	27.3	98.7	A	A		
	4	276	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	5	277	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	6	278	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	7	279	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	8	280	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	9	281	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	10	282	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	11	283	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	12	284	0	0	27	0.0	0.0	A	F		
	13	285	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	14	286	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	15	287	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	16	288	0	1	28	30.9	89.6	A	AA		
	17	289	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
B42	1	290	0	1	30	28.5	95.1	AA	A	AA	A
	2	291	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	3	292	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	4	293	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
B43	1	294	1	1	30	27.3	91.1	AA	A	AA	A
	2	295	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	296	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	297	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	5	298	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	6	299	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
B44	1	300	1	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	2	301	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	3	302	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	4	303	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	5	304	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
B45	1	305	0	1	29	28.5	98.4	A	A	AA	A
	2	306	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	3	307	0	1	32	30.9	96.6	AA	AA		
	4	308	1	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	5	309	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	6	310	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	7	311	0	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	8	312	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	9	313	1	1	30	27.3	91.1	AA	A		
B46	1	314	1	0	29	0.0	0.0	A	F	A	A
	2	315	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	3	316	0	1	27	28.5	94.3	A	A		
	4	317	1	1	28	28.5	98.1	A	A		
	5	318	0	1	27	26.1	96.8	A	B		
	6	319	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	7	320	1	1	27	28.5	94.3	A	A		
	8	321	1	1	28	28.5	98.1	A	A		
	9	322	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
B47	1	323	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA	AA	AA
	2	324	0	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	3	325	0	1	32	32.1	99.6	AA	AA		
	4	326	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	5	327	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	6	328	1	1	31	27.3	88.2	AA	A		
B48	1	329	1	1	28	28.5	98.1	A	A	A	A
	2	330	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	3	331	0	1	28	29.7	93.8	A	AA		
	4	332	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	5	333	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	6	334	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	7	335	0	1	28	25.0	89.1	A	B		
B49	1	336	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	337	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	338	0	1	26	27.3	94.9	B	A		
	4	339	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	5	340	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	6	341	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	7	342	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
B50	1	343	0	1	26	27.3	94.9	B	A	A	A
	2	344	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	345	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	4	346	0	1	28	26.1	93.4	A	B		
	5	347	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	6	348	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	7	349	0	1	28	25.0	89.1	A	B		
	8	350	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	9	351	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	10	352	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	11	353	1	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
B51	1	354	0	1	30	28.5	95.1	AA	A	AA	AA
	2	355	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	356	1	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	4	357	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
B52	1	358	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA	AA	AA
	2	359	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
	3	360	1	1	29	29.7	97.5	A	AA		

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
4	361	0	1	29	29.7	97.5	A	AA			
5	362	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA			
6	363	0	1	31	28.5	92.0	AA	A			
7	364	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA			
8	365	1	0	30	0.0	0.0	AA	F			
9	366	1	0	28	0.0	0.0	A	F			

หมายเหตุ สถานะ
การตรวจเจอ

0=ผลลำไยไม่บังกัน
0=ไม่เจอ

1=ผลลำไยบังกัน
1=เจอ

ตารางผนวกที่ ค2 ประสิทธิภาพการคัดขนาดข้อลำไยพันธุ์แก้ว

P_{g1}	C_{21}	C_{31}	P_{g2}	C_{12}	C_{32}	P_{g3}	C_{13}	C_{23}
11	4	0	27	9	0	0	0	1

เมื่อ B1 – B52 คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้ว ลำดับที่ 1 – 52

P_{g1} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด AA ที่คัดถูกต้อง

C_{21} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด AA ที่คัดผิดเป็นเกรด A

C_{31} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด AA ที่คัดผิดเป็นเกรด B

P_{g2} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด A ที่คัดถูกต้อง

C_{12} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด A ที่คัดผิดเป็นเกรด AA

C_{32} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด A ที่คัดผิดเป็นเกรด B

P_{g3} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด B ที่คัดถูกต้อง

C_{13} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด B ที่คัดผิดเป็นเกรด AA

C_{23} คือ ลำไยข้อพันธุ์แก้วเกรด B ที่คัดผิดเป็นเกรด A

ตารางผนวกที่ ค3 สมรรถนะของระบบการคัดขนาดข้อลําไยพันธุ์แห้ว

G	P	C	Ew	Cr	Ts	Q
52	38	14	73.1	26.9	223	839

เมื่อ	G	คือ จำนวนข้อลําไยที่ใช้ในการคัดขนาด
	P	คือ ข้อลําไยที่คัดได้ถูกต้อง
	C	คือ ข้อลําไยที่คัดผิดพลาด
	Cr	คือ สัดส่วนของข้อลําไยที่คัดผิดพลาด
	Ew	คือ ประสิทธิภาพในการคัด
	Ts	คือ เวลาที่ใช้ในแต่ละชั่วโมงการทดลอง
	Q	คือ สมรรถนะ (ข้อลําไย/ชั่วโมง)



ตารางผนวกที่ 1 ผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพและอัตราส่วนเงิปนของระบบการคัดผลลำไย
พันธุ์ดอ

ชื่อ ที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด คัดได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
C1	1	1	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA	AA	AA
	2	2	0	1	27	28.5	94.3	A	A		
	3	3	1	1	16	25.0	44.1	B	B		
	4	4	1	1	32	27.3	85.4	AA	A		
	5	5	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	6	6	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
C2	1	7	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA	AA	A
	2	8	1	1	31	27.3	88.2	AA	A		
	3	9	0	1	30	27.3	91.1	AA	A		
C3	1	10	0	1	31	28.5	92.0	AA	A	AA	A
	2	11	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
C4	1	12	1	1	31	28.5	92.0	AA	A	AA	AA
	2	13	0	1	35	30.9	88.3	AA	AA		
	3	14	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	4	15	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	5	16	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
C5	1	17	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA	AA	AA
	2	18	1	1	32	28.5	89.2	AA	A		
	3	19	1	0	32	0.0	0.0	AA	F		
	4	20	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	5	21	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	6	22	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	7	23	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
C6	1	24	0	1	32	28.5	89.2	AA	A	AA	AA
	2	25	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	3	26	1	1	35	29.7	84.9	AA	AA		
	4	27	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	5	28	0	1	34	30.9	90.9	AA	AA		
	6	29	0	1	26	28.5	90.3	B	A		
C7	1	30	0	0	28	0.0	0.0	A	F	A	AA

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ชื่อ ที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด คัดได้	เกรด ข้อ	เกรด คัด
	2	31	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	32	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	33	0	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	5	34	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	6	35	1	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	7	36	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	8	37	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	9	38	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	10	39	1	1	28	29.7	93.8	A	AA		
	11	40	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	12	41	0	0	27	0.0	0.0	A	F		
C8	1	42	0	1	29	28.5	98.4	A	A	AA	AA
	2	43	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	3	44	1	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	4	45	0	1	33	30.9	93.7	AA	AA		
	5	46	1	1	32	30.9	96.6	AA	AA		
	6	47	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	7	48	0	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	8	49	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	9	50	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
C9	1	51	1	1	26	26.1	99.4	B	B	AA	AA
	2	52	0	1	28	26.1	93.4	A	B		
	3	53	1	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	4	54	0	1	31	27.3	88.2	AA	A		
	5	55	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	6	56	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
C10	1	57	1	0	29	0.0	0.0	A	F	A	AA
	2	58	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	59	1	0	33	0.0	0.0	AA	F		
	4	60	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง %	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	5	61	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	6	62	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	7	63	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
C11	1	64	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	65	0	1	29	27.3	94.3	A	A		
	3	66	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	67	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	5	68	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	6	69	0	1	26	28.5	90.3	B	A		
	7	70	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	8	71	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	9	72	0	1	30	27.3	91.1	AA	A		
C12	1	73	0	0	31	0.0	0.0	AA	F	A	A
	2	74	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	75	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	4	76	1	1	28	26.1	93.4	A	B		
	5	77	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	6	78	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
	7	79	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	8	80	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
C13	1	81	1	1	30	27.3	91.1	AA	A	AA	AA
	2	82	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	3	83	1	1	28	26.1	93.4	A	B		
	4	84	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	5	85	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	6	86	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	7	87	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	8	88	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	9	89	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	10	90	1	1	29	27.3	94.3	A	A		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาด ที่วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด คัด ได้	เกรด ช่อ	เกรด คัด
C14	1	91	0	1	26	27.3	94.9	B	A	AA	A
	2	92	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	93	0	1	26	28.5	90.3	B	A		
	4	94	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	5	95	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	6	96	1	0	32	0.0	0.0	AA	F		
C15	1	97	0	1	30	28.5	95.1	AA	A	AA	A
	2	98	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	3	99	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	4	100	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	5	101	0	0	24	0.0	0.0	B	F		
	6	102	1	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	7	103	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	8	104	1	1	30	27.3	91.1	AA	A		
C16	1	105	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA	AA	AA
	2	106	1	1	30	26.1	87.1	AA	B		
	3	107	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	108	0	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	5	109	1	1	33	30.9	93.7	AA	AA		
	6	110	1	1	31	26.1	84.3	AA	B		
	7	111	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	8	112	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	9	113	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	10	114	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
C17	1	115	0	0	31	0.0	0.0	AA	F	AA	AA
	2	116	1	1	34	29.7	87.4	AA	AA		
	3	117	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	118	1	1	30	26.1	87.1	AA	B		
	5	119	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
C18	1	120	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA	A	A

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	2	121	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	122	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	4	123	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
C19	1	124	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA	AA	AA
	2	125	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	3	126	0	1	32	28.5	89.2	AA	A		
	4	127	1	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	5	128	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
C20	1	129	0	1	28	27.3	97.6	A	A	A	A
	2	130	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	3	131	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	4	132	0	1	33	30.9	93.7	AA	AA		
	5	133	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	6	134	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
C21	1	135	0	1	28	28.5	98.1	A	A	AA	AA
	2	136	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	137	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	4	138	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	5	139	1	1	30	27.3	91.1	AA	A		
	6	140	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
C22	1	141	0	1	34	29.7	87.4	AA	AA	AA	AA
	2	142	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	3	143	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	4	144	1	0	32	0.0	0.0	AA	F		
	5	145	0	1	31	27.3	88.2	AA	A		
	6	146	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	7	147	0	1	35	32.1	91.8	AA	AA		
	8	148	0	1	31	26.1	84.3	AA	B		
	9	149	1	1	30	27.3	91.1	AA	A		
C23	1	150	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA	AA	AA

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	2	151	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	3	152	1	1	28	26.1	93.4	A	B		
	4	153	1	1	31	27.3	88.2	AA	A		
	5	154	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	6	155	0	1	33	29.7	90.1	AA	AA		
	7	156	0	1	29	30.9	93.4	A	AA		
	8	157	0	1	33	28.5	86.5	AA	A		
C24	1	158	1	0	28	0.0	0.0	A	F	A	A
	2	159	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	160	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	4	161	0	0	25	0.0	0.0	B	F		
	5	162	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	6	163	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	7	164	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	8	165	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
C25	1	166	0	1	30	28.5	95.1	AA	A	AA	A
	2	167	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	168	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	169	1	1	29	26.1	90.2	A	B		
C26	1	170	0	1	29	28.5	98.4	A	A	AA	AA
	2	171	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	3	172	1	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	4	173	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	5	174	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	6	175	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	7	176	0	1	31	32.1	96.4	AA	AA		
	8	177	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	9	178	1	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	10	179	1	1	36	27.3	75.9	AA	A		
	11	180	0	1	29	28.5	98.4	A	A		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
C27	1	181	1	1	30	27.3	91.1	AA	A	AA	A
	2	182	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	183	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	4	184	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	5	185	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	6	186	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
C28	1	187	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA	AA	AA
	2	188	0	1	33	28.5	86.5	AA	A		
	3	189	1	0	33	0.0	0.0	AA	F		
	4	190	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	5	191	1	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	6	192	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	7	193	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	8	194	1	0	35	0.0	0.0	AA	F		
	9	195	0	1	31	27.3	88.2	AA	A		
C29	1	196	1	1	30	28.5	95.1	AA	A	AA	AA
	2	197	1	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	3	198	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
	4	199	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	5	200	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	6	201	1	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
	7	202	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	8	203	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	9	204	0	0	32	0.0	0.0	AA	F		
	10	205	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
C30	1	206	0	1	30	28.5	95.1	AA	A	AA	A
	2	207	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	208	1	1	33	29.7	90.1	AA	AA		
	4	209	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	5	210	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด คัด ได้	เกรด ช่อ	เกรด คัด
	6	211	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
C31	1	212	1	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	213	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	3	214	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	4	215	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	5	216	0	1	27	27.3	98.7	A	A		
	6	217	1	1	31	27.3	88.2	AA	A		
	7	218	1	1	27	27.3	98.7	A	A		
C32	1	219	0	1	25	26.1	95.4	B	B	AA	A
	2	220	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	3	221	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	4	222	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
C33	1	223	0	1	30	28.5	95.1	AA	A	AA	A
	2	224	1	0	28	0.0	0.0	A	F		
	3	225	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	4	226	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	5	227	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
C34	1	228	0	1	28	29.7	93.8	A	AA	AA	AA
	2	229	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	3	230	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	4	231	0	0	27	0.0	0.0	A	F		
	5	232	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	6	233	0	1	31	30.9	99.7	AA	AA		
C35	1	234	1	1	29	27.3	94.3	A	A	AA	A
	2	235	1	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	236	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	4	237	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	5	238	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	6	239	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	7	240	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
	8	241	1	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	9	242	0	1	30	26.1	87.1	AA	B		
C36	1	243	0	1	31	28.5	92.0	AA	A	A	A
	2	244	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	245	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	4	246	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	5	247	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	6	248	1	1	29	28.5	98.4	A	A		
	7	249	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	8	250	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	9	251	1	1	29	27.3	94.3	A	A		
	10	252	0	1	30	30.9	96.9	AA	AA		
	11	253	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
C37	1	254	1	1	31	26.1	84.3	AA	B	A	A
	2	255	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	256	0	1	31	28.5	92.0	AA	A		
	4	257	0	1	26	28.5	90.3	B	A		
	5	258	0	1	27	28.5	94.3	A	A		
	6	259	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	7	260	0	0	25	0.0	0.0	B	F		
	8	261	1	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	9	262	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
C38	1	263	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA	AA	AA
	2	264	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	265	1	1	33	28.5	86.5	AA	A		
	4	266	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	5	267	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
C39	1	268	0	1	27	28.5	94.3	A	A	A	A
	2	269	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	270	1	0	29	0.0	0.0	A	F		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
	4	271	1	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	5	272	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	6	273	0	0	29	0.0	0.0	A	F		
	7	274	1	1	27	28.5	94.3	A	A		
C40	1	275	0	1	33	29.7	90.1	AA	AA	AA	AA
	2	276	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	3	277	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	4	278	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	5	279	1	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	6	280	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	7	281	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
C41	1	282	0	1	29	29.7	97.5	A	AA	AA	AA
	2	283	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	3	284	1	1	31	27.3	88.2	AA	A		
	4	285	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
C42	1	286	0	1	29	28.5	98.4	A	A	AA	AA
	2	287	1	1	27	28.5	94.3	A	A		
	3	288	0	0	28	0.0	0.0	A	F		
	4	289	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	5	290	0	0	30	0.0	0.0	AA	F		
	6	291	1	1	31	26.1	84.3	AA	B		
	7	292	0	1	30	26.1	87.1	AA	B		
	8	293	1	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	9	294	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	10	295	1	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
C43	1	296	0	1	29	28.5	98.4	A	A	A	A
	2	297	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
C44	1	298	1	1	29	28.5	98.4	A	A	AA	A
	2	299	0	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	3	300	1	1	31	27.3	88.2	AA	A		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ช่อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ช่อ	เกรด ตัด
C45	1	301	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA	AA	AA
	2	302	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
C46	1	303	0	1	31	28.5	92.0	AA	A	AA	A
	2	304	1	0	31	0.0	0.0	AA	F		
	3	305	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
	4	306	1	1	32	26.1	81.7	AA	B		
	5	307	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	6	308	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
C47	1	309	1	0	29	0.0	0.0	A	F	AA	AA
	2	310	0	1	33	30.9	93.7	AA	AA		
	3	311	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	4	312	0	1	31	29.7	95.9	AA	AA		
	5	313	0	1	29	29.7	97.5	A	AA		
	6	314	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
C48	1	315	1	1	29	26.1	90.2	A	B	A	A
	2	316	0	1	30	29.7	99.1	AA	AA		
	3	317	0	1	28	28.5	98.1	A	A		
C49	1	318	0	1	27	27.3	98.7	A	A	A	A
	2	319	0	1	28	27.3	97.6	A	A		
	3	320	1	0	29	0.0	0.0	A	F		
	4	321	1	1	32	29.7	92.9	AA	AA		
	5	322	0	1	30	28.5	95.1	AA	A		
	6	323	0	1	29	28.5	98.4	A	A		
C50	1	324	1	1	28	25.0	89.1	A	B	A	A
	2	325	1	1	28	27.3	97.6	A	A		
	3	326	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	4	327	1	0	27	0.0	0.0	A	F		
	5	328	0	1	26	29.7	85.7	B	AA		
	6	329	0	0	25	0.0	0.0	B	F		
	7	330	1	1	27	28.5	94.3	A	A		

ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ข้อที่	ผล ที่	ผลที่ รวม	สถานะ	ตรวจ เจอ	ขนาด จริง mm	ขนาดที่ วัดได้ mm	ความ ถูกต้อง%	เกรด จริง	เกรด ตัดได้	เกรด ข้อ	เกรด ตัด
8	331	0	1	29	29.7	97.5	A	AA			
9	332	1	1	27	26.1	96.8	A	B			

หมายเหตุ สถานะ
การตรวจเจอ

0=ผลลำไยไม่บังกัน
0=ไม่เจอ

1=ผลลำไยบังกัน
1=เจอ

ตารางผนวกที่ ง2 ประสิทธิภาพการคัดขนาดข้อลำไยพันธุ์ต่อ

P_{g1}	C_{21}	C_{31}	P_{g2}	C_{12}	C_{32}	P_{g3}	C_{13}	C_{23}
23	12	0	13	2	0	0	0	0

เมื่อ $C1 - C50$ คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อ ลำดับที่ 1 - 50
 P_{g1} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด AA ที่คัดถูกต้อง
 C_{21} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด AA ที่คัดผิดเป็นเกรด A
 C_{31} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด AA ที่คัดผิดเป็นเกรด B
 P_{g2} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด A ที่คัดถูกต้อง
 C_{12} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด A ที่คัดผิดเป็นเกรด AA
 C_{32} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด A ที่คัดผิดเป็นเกรด B
 P_{g3} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด B ที่คัดถูกต้อง
 C_{13} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด B ที่คัดผิดเป็นเกรด AA
 C_{23} คือ ลำไยข้อพันธุ์ต่อเกรด B ที่คัดผิดเป็นเกรด A

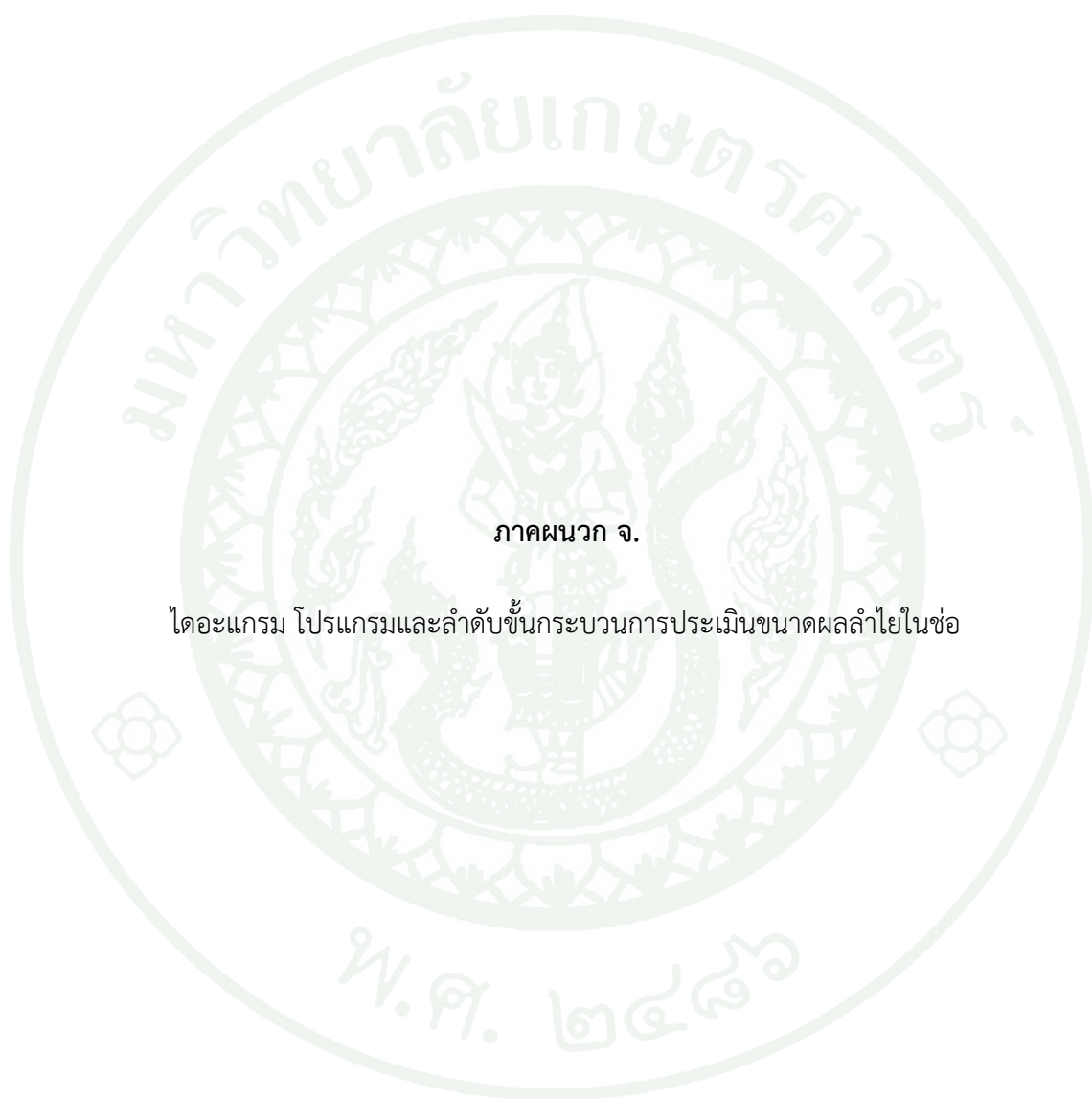
ตารางผนวกที่ ง3 สมรรถนะของระบบการคัดขนาดข้อลำไยพันธุ์ต่อ

G	P	C	Ew	Cr	Ts	Q
50	36	14	72.0	28.0	214	841

เมื่อ G คือ จำนวนข้อลำไยที่ใช้ในการคัดขนาด
P คือ ข้อลำไยที่ตัดได้ถูกต้อง
C คือ ข้อลำไยที่คัดผิดพลาด
Cr คือ สัดส่วนของข้อลำไยที่คัดผิดพลาด

- Ew คือ ประสิทธิภาพในการตัด
Ts คือ เวลาที่ใช้ในแต่ละซ้ำการทดลอง
Q คือ สมรรถนะ (ข้อล้า/ชั่วโมง)





ภาคผนวก จ.

ไดอะแกรม โปรแกรมและลำดับขั้นกระบวนการประเมินขนาดผลลำไยในชื่อ

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประเมินขนาดของผลล้าไยสดในช่อด้วย เทคนิคการประมวลด้วยภาพ

การติดต่อรหะหว่างหน่วยประมวลผลกับกล้องถ่ายภาพ

เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการ เพื่อนำภาพช่อล้าไยที่ต้องการประเมินไปทดสอบ โดยหน่วยประมวลผลต้องติดต่อก้องถ่ายภาพผ่านไดเรกทอรีของกล้องที่ได้ติดตั้งไว้ก่อนหน้าแล้ว ซึ่งจะปรากฏในไฟล์ชื่อ avicap.dll ในไดเรกทอรี c:\windows\system จากนั้นให้คัดลอกไฟล์และเปลี่ยนชื่อเป็น vfw32.dll แล้วบันทึกเก็บในไดเรกทอรีเดิม จากนั้นในส่วนการโปรแกรมให้เขียนคำสั่งดังต่อไปนี้

ส่วนหัวโปรแกรม (Header)

```
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#pragma resource "*.dfm"
#include "vfw.h"
typedef struct psrgb{unsigned char b,g,r;}srgb;
HWND Hwnd=0;
srgb *rgb;
void capconnect(void);
LRESULT FAR PASCAL OnFrameCallback(HWND hwnd,LPVIDEOHDR header);
LRESULT videohandler(HWND window,LPVIDEOHDR header);
```

ส่วนโปรแกรมย่อย

```
void capconnect(void)
{
    //เชื่อมไปยัง Menu ไตรเวอร์
    CAPSTATUS csts;
    CAPDRIVERCAPS cdc;
    CAPTUREPARMS capparam;
    BITMAPINFO bmlInfo;
    //เชื่อมต่อเพื่อจับภาพ
    Hwnd=capCreateCaptureWindow((LPSTR)"CaptureWindow",WS_CHILD|WS_
VISIBLE ,80,40,160,120,Form1->Handle,(int)1);
    capDriverConnect(Hwnd,0);//Connect api to capture window
    capPreviewRate(Hwnd,1000/7);//frame rate (millisecond)
    capPreview(Hwnd,TRUE);//preview mode
```

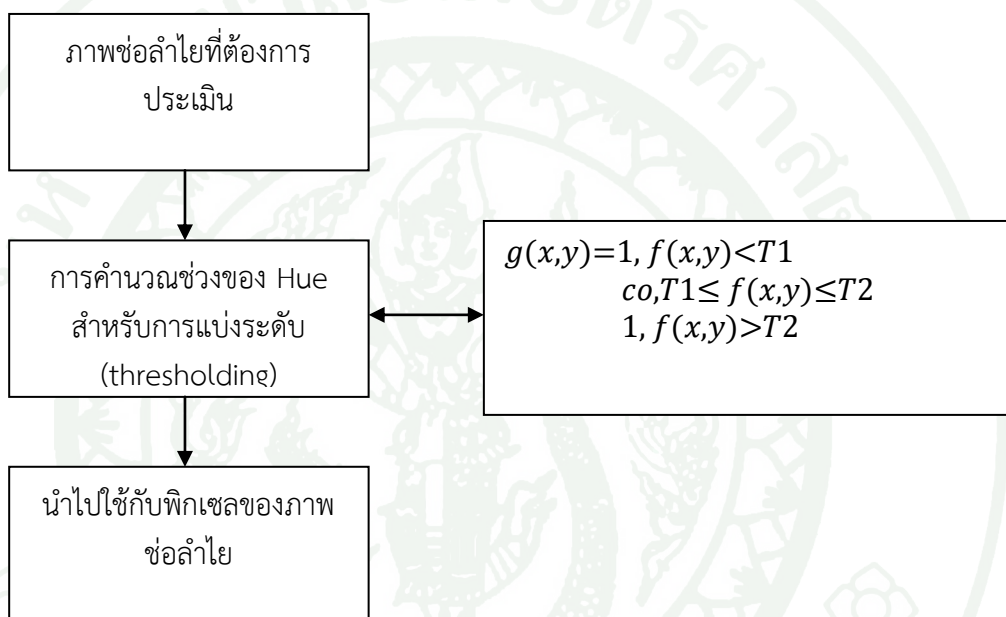
```

capPreviewScale(HwnDc,TRUE);//stretch video to window
//ตั้งคุณสมบัติของไดร์เวอร์เพื่อปรับแต่ง
capDriverGetCaps(HwnDc,sizeof(cdc),&cdc);
capGetStatus(HwnDc,&csts,sizeof(csts));
csts.uImageWidth =640;
csts.uImageHeight =480;
csts.fUsingDefaultPalette = FALSE;
csts.fAudioHardware =FALSE;
capCaptureGetSetup(HwnDc,&capparam,sizeof(capparam));
capparam.fCaptureAudio =FALSE;
capparam.wStepCaptureAverageFrames =1;
capparam.dwRequestMicroSecPerFrame =1000000/25;
capparam.wPercentDropForError =100;
capparam.wNumVideoRequested =20;
capparam.fMCIControl =FALSE;
capparam.fYield =TRUE;
capparam.fAbortLeftMouse =TRUE;
capparam.fAbortRightMouse =TRUE;
capparam.vKeyAbort =VK_ESCAPE;
capCaptureSetSetup(HwnDc,&capparam,sizeof(capparam));
if(capSetCallbackOnVideoStream(HwnDc,videohandler)==TRUE)
    printf("capSetCallbackOnVideoStream");
if(capSetCallbackOnFrame(HwnDc,OnFrameCallback)==TRUE)
    printf("capSetCallbackOnFrame");
}
LRESULT FAR PASCAL OnFrameCallback(HWND hWnd,LPVIDEOHDR header)
{
    rgb=(srgb*)header->lpData;
    return (0);
}
LRESULT videohandler(HWND window,LPVIDEOHDR header)
{
    rgb=(srgb*)header->lpData;
    return (0);
}

```

กระบวนการ Color threshold

หลังจากการติดต่อกับกล้องถ่ายภาพและสามารถดึงภาพเข้ามาในโปรแกรมได้เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือ การทำ color threshold กับภาพที่ได้รับมา เพื่อแยกองค์ประกอบภายในภาพ ซึ่งปกติประกอบด้วย ผลลำไย กิ่ง และใบ โดยในที่นี้ต้องการกำจัดกิ่งและใบ ซึ่งสามารถใช้โมเดลสีแบบ HSB ได้ผลที่ได้รับคือ สามารถขจัดใบได้ ส่วนกิ่งหรือก้านสามารถขจัดได้บางส่วน กระบวนการนี้ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจจึงได้เขียนเป็นไดอะแกรมดังนี้

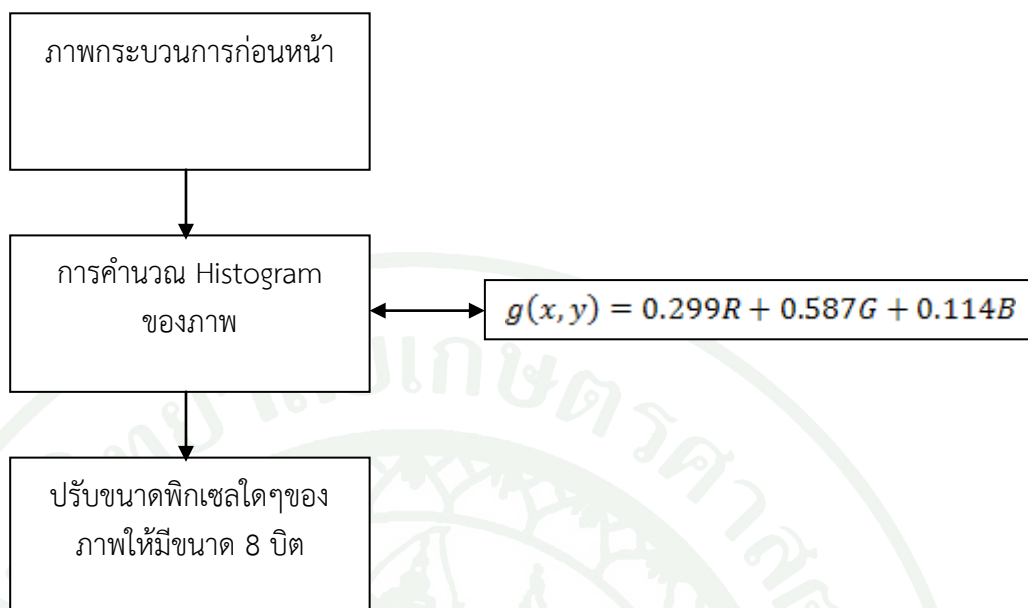


ภาพผนวกที่ จ1 ไดอะแกรมกระบวนการ color threshold

- เมื่อ $g(x,y)$ คือพิกเซลใดๆในภาพที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงค่า
 $f(x,y)$ คือพิกเซลใดๆในภาพต้นฉบับ
 T_1 คือขีดจำกัดล่างของค่า Hue อยู่ที่ 40
 T_2 คือขีดจำกัดบนของค่า Hue อยู่ที่ 60
 1 คือ พิกเซลใดๆที่ถูกเปลี่ยนเป็นสีขาว
 co คือ ค่าสีต้นเดิมของภาพต้นฉบับ

กระบวนการเปลี่ยนภาพเป็นเฉดสีเทา (Gray scale)

เป็นกระบวนการแปลงจากภาพสีให้เป็นสีเทาเพื่อลดจำนวนข้อมูลของแต่ละพิกเซลให้เป็นขนาด 8 บิต ทำให้ง่ายและประหยัดเวลาต่อการใช้งานในขั้นถัดไป โดยวิธีการแปลงภาพให้เป็นสีเทาสามารถทำตามไดอะแกรมต่อไปนี้



ภาพผนวกที่ จ2 ไต่อะแกรมกระบวนการ gray scale

เมื่อ $g(x,y)$ คือพิกเซลใดๆในภาพที่ได้นำมาคำนวณ
 R คือค่าสีแดงในพิกเซลใดๆ
 G คือค่าสีเขียวในพิกเซลใดๆ
 B คือค่าสีฟ้าในพิกเซลใดๆ

การเขียนโปรแกรมด้วย Borland C++ Builder 5.0
 การประกาศตัวแปร

```

#define Height 120
#define Width 160
TColor RGB;
unsigned int Y;
short R,G,B;
int x,y;
img_array=new unsigned int*[Width];
Histogram = new unsigned int[Gray8Bit];
การสร้างพื้นที่อะเรย์สำหรับเก็บข้อมูลของภาพขนาด 160x120 พิกเซล
for(y=0;y<Width;y++)
    img_array[y]=new unsigned int[Height];
การคำนวณ Histogram ของภาพ
for(y=0;y<Width;y++) {
  
```

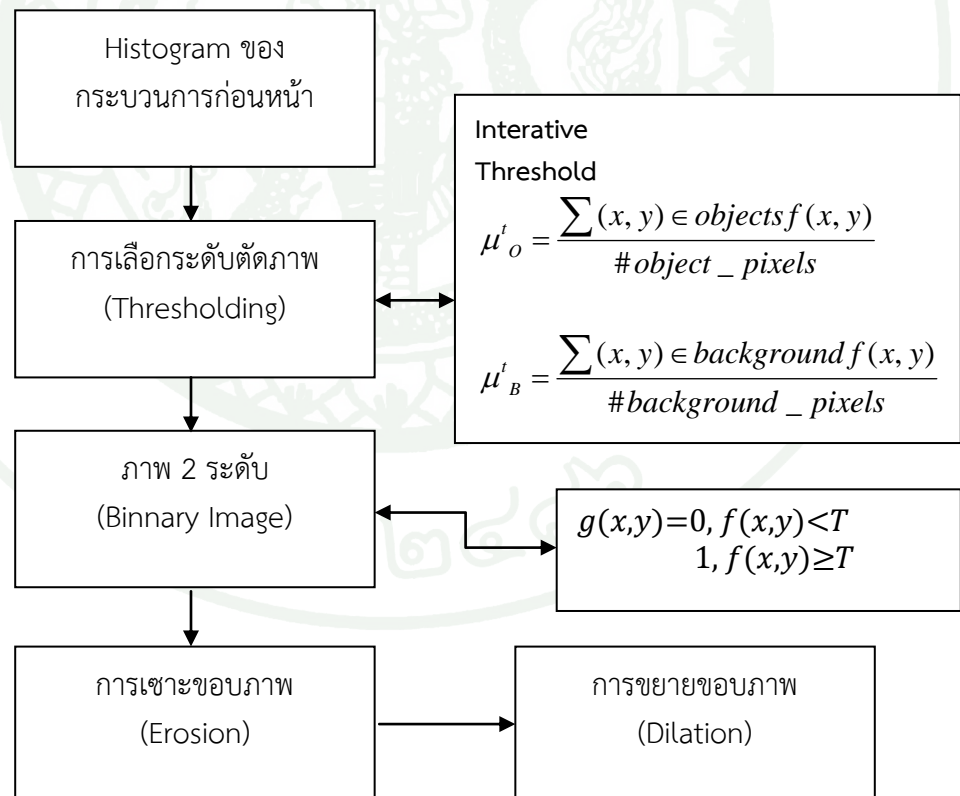
```

for(x=0;x<Height;x++) {
    R=G=B=Y=0;
    R = (Image1->Picture->Bitmap->Canvas->Pixels[y][x])%256;
    G = (Image1->Picture->Bitmap->Canvas->Pixels[y][x]/256)%256;
    B = (Image1->Picture->Bitmap->Canvas->Pixels[y][x])/65536;
    Y= (0.299*R)+(0.587*G)+(0.114*B);
    img_array[y][x]=Y;
    Histogram[Y]++;
}
}

```

กระบวนการเซาะและขยายภาพ (Erosion and Dilation)

เป็นกระบวนการเพื่อลด Noise ของภาพและเติมเต็มองค์ประกอบบางส่วนที่ขาดหายไป มีขั้นตอนตามไดอะแกรมดังนี้



ภาพผนวกที่ ๓3 ไดอะแกรมกระบวนการเซาะและขยาย (erosion and dilation)

เมื่อ μ'_o	คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุ
$\in \text{objectsf}(x, y)$	คือ ค่าความเข้มที่มีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าระดับ การตัดภาพ
$\# \text{object_pixels}$	คือจำนวนจุดที่มีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าระดับการตัดภาพ
μ'_B	คือ ค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มของวัตถุ
$\in \text{backgroundf}(x, y)$	คือ ค่าความเข้มที่มีค่าความเข้มมากกว่าค่าระดับ การตัดภาพ
$\# \text{background_pixels}$	คือ จำนวนจุดที่มีค่าความเข้มมากกว่าค่าระดับการตัดภาพ
$g(x, y)$	คือ ตำแหน่งพิกเซลใดๆบนภาพหลังจากการแปลงภาพให้เป็น 2 ระดับ
$f(x, y)$	คือ ค่าระดับความเทาของตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ
T	คือ ค่าที่ใช้ในการตัดภาพ

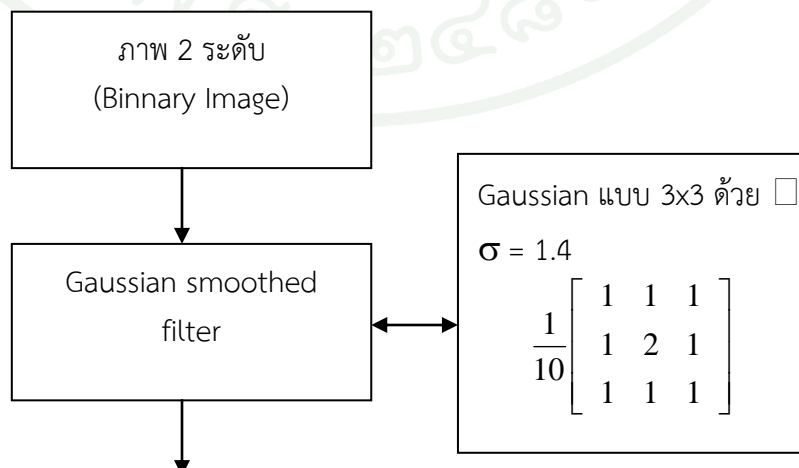
และ
$$T^{(t+1)} = \frac{1}{2}(\mu'_B + \mu'_o)$$

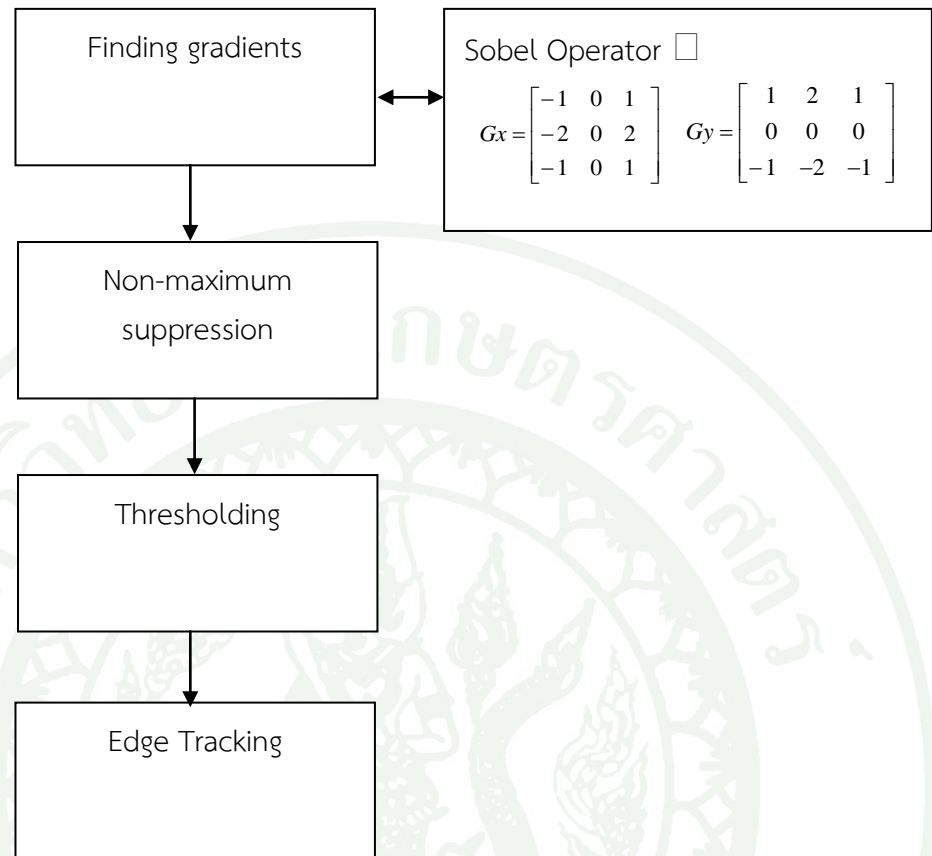
พร้อมการตรวจสอบว่าค่า $T^{(t+1)} = T^t$

ถ้าไม่เท่ากันก็ให้หาค่า μ'_B และ μ'_o ใหม่จนกว่าจะเท่ากัน

กระบวนการหาขอบภาพ (Edge detection)

เป็นกระบวนการที่ใช้ลดข้อมูลของภาพที่สนใจเหลือเพียงแค่ขอบของภาพ แต่ยังมีประโยชน์สามารถนำไปใช้ในกระบวนการถัดไปได้ ในที่นี้ได้เลือกใช้ Canny Edge Detection ซึ่งมีขั้นตอนดังไดอะแกรมต่อไปนี้

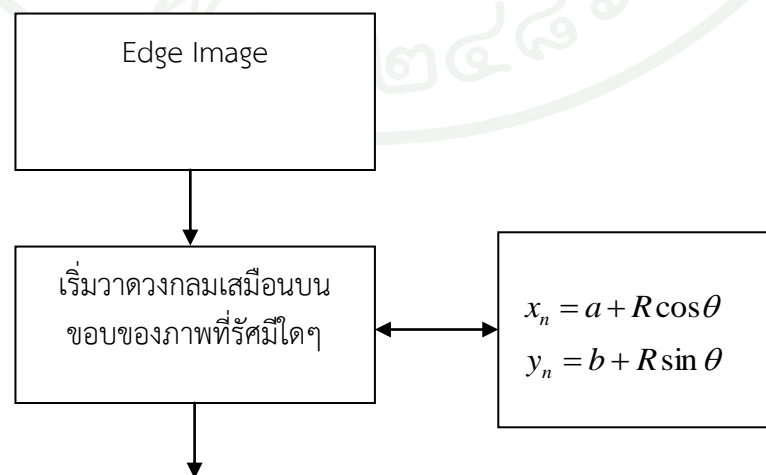


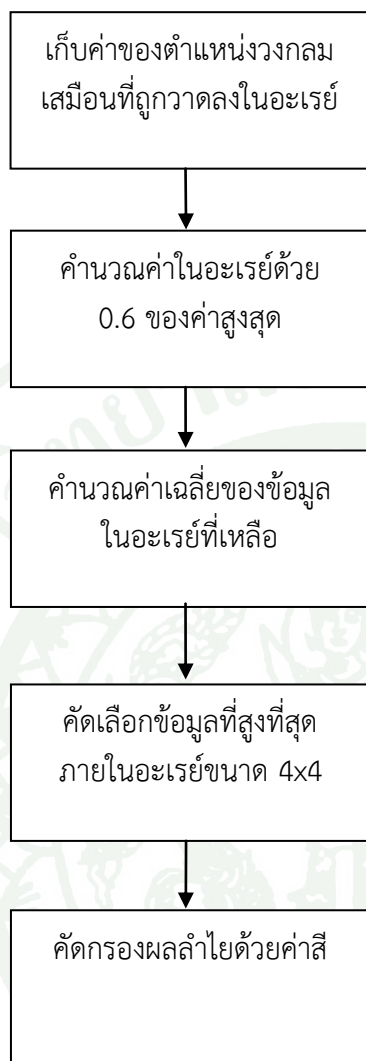


ภาพผนวกที่ จ4 ไดอะแกรมกระบวนการหาขอบภาพ (canny egde-detection)

กระบวนการค้นหาเส้นและประเมินขนาดผลเส้นในข้อด้วยวิธี CHT

เป็นกระบวนการสำหรับตรวจสอบหาตำแหน่งรวมถึงขนาดของผลเส้นภายในข้อ มีขั้นตอนดังไดอะแกรมต่อไปนี้





ภาพผนวกที่ จ5 ไดอะแกรมกระบวนการค้นหาผลล้าไยและประเมินขนาดผลล้าไยในข้อด้วยวิธี CHT

เมื่อ x_n และ y_n คือ Coordinate ของ Locus ขณะ θ กวาดไปรอบๆจุดศูนย์กลางหรือ 0
ถึง 359 องศา จุดขอบวัตถุที่ใช้เป็นจุดอ้างอิง
a และ b คือ จุดศูนย์กลางจำลองบนเส้นขอบของวัตถุ ณ. จุดใดๆ
R คือ ขนาดรัศมีของวงกลมเสมือนที่สร้างรอบของจุดอ้างอิงบนขอบวัตถุ

การเขียนโปรแกรม CHT ด้วย Borland C++ Builder 5.0
การประกาศตัวแปร
#define edge 255
int rad=0,ceta=0,dist=0,x=60,y=80,bor1=0,bor2=0,g_t=10;
short a,b,old_a=0,old_b=0,sum_count=0;

```

//ประกาศอะเรย์สำหรับเก็บค่าของวงกลมเสมือนที่ถูกวาด
int ac_mat[Width][Height][De_hough];
String timestart;
//เริ่มนับเวลาของการประมวลผล
long elape1 = GetTickCount();
timestart =TimeToStr(Time());
//การวาดวงกลมเสมือนและเก็บข้อมูลลงในอะเรย์
for(y=0;y<Width;y=y+1) {
    for(x=0;x<Height0;x=x+1) {
        if(Form1->img_magnit[y][x]==edge) { //ตรวจสอบขอบ
            sum_count++;
            for(ceta=0;ceta<359;ceta=ceta+1) {
                a=(sin(ceta*0.01745)*rad); // rad = รัศมีที่ใช้ในการคำนวณ
                b=(cos(ceta*0.01745)*rad);
                if((y+a>0)&&(y+a<Width)&&(x+b>0)&&(x+b<Height))
                    ac_mat[y+a][x+b][level]++; //Be careful out of range
            }
            a=b=0; //clear value in a and b
        }
    }
}

//การคำนวณหาค่าสูงสุดในอะเรย์แต่ละชั้น
int highest_test=0;
for(y=0;y<Width;y=y+1) {
    for(x=0;x<Height;x=x+1) {
        if(ac_mat[y][x][level]>highest_test) {
            highest_test=ac_mat[y][x][level];
        }
    }
}

//การค้นหาค่าตัวแทนของผลล้าไยในข้อด้วย 0.6 x maximum
for(y=0;y<Width;y=y+1) {
    for(x=0;x<Height;x=x+1) {
        if(ac_mat[y][x][level]<highest_test*0.6) {

```

```

        ac_mat[y][x][level]=0;
    }
}
}
//การหาค่าเฉลี่ยจากจำนวนตัวแทนที่เหลืออยู่
int mean_hough=0;
int count_mean=0;
for(y=0;y<Width;y=y+1) {
    for(x=0;x<Height;x=x+1) {
        if(ac_mat[y][x][level]>0) {
            mean_hough= mean_hough+ ac_mat[y][x][level];
            count_mean++;
        }
    }
}
mean_hough=mean_hough/(count_mean);
for(y=0;y<Width;y=y+1) {
    for(x=0;x<Height;x=x+1) {
        if(ac_mat[y][x][level]< mean_hough) {
            ac_mat[y][x][level]=0;
        }
    }
}
//การตรวจสอบพิกเซลในบริเวณ neighbor array ขนาด 5x5 เพื่อหาตัวแทนจริง
#define neighbor 2
for(int y=5;y<Width-5;y=y+1) { //check highest neighbor array 5x5 anf kept
    for(int x=5;x<Height-5;x=x+1) {
        for(int m=-neighbor;m<=neighbor;m++) {
            for(int n=-neighbor;n<=neighbor;n++) {
                if((ac_mat[y][x][level]<ac_mat[y+m][x+n][level])) {
                    ac_mat[y][x][level]=0;
                }
            }
        }
    }
}
}
}
}
}

```

```

//การคัดกรองผลลำไย
int redness=80;
int R=0;
for(int y=0;y<Width;y++) {
    for(int x=0;x<Height;x++) {
        if((ac_mat[y][x][level]!=0)) {
            for(int m=0;m<Width;m++) {
                for(int n=0;n<Height;n++) {
                    for(int ceta=0;ceta<359;ceta=ceta+1) {
                        for(int i=0;i<rad;i++) {
                            int a=(sin(ceta*0.01745)*i);
                            int b=(cos(ceta*0.01745)*i);
                            R = (Form1->Image1->Picture->Bitmap->Canvas-
>Pixels[y+a][x+b])%256;
                            if((R>Redness)&&(y+a<Width)&&(x+b<Height)) {
                                count_pixel++;
                            }
                            Else {
                                count_point++;
                            }
                        }
                    }
                }
            }
            // ตรวจสอบสีของลำไยถ้ามีมากกว่าร้อยละ 80 ให้ถือว่าเป็นผลลำไยจริง
            long exact_object=0.8;
            exact_object=(count_point/(count_point+count_pixel))*100;
        }
    }
}
}
}
}
//การคำนวณเวลาของกระบวนการ
long elape2 = GetTickCount();
int diff= elape2-elape1;

```

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายชวโรจน์ ใจสิน
เกิดวันที่	24 สิงหาคม พ.ศ.2523
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (ระบบควบคุมและเครื่องมือวัด) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วศ.ม. (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประวัติการทำงาน	อาจารย์ประจำตามสัญญา โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย (พ.ศ. 2549-2551)
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ตามโครงการ เครือข่ายเชิงกลยุทธ์เพื่อการผลิตและพัฒนาอาจารย์ใน สถาบันอุดมศึกษาประจำปี พ.ศ. 2551 ในเครือข่ายที่ 6 เทคโนโลยีการเกษตรก้าวหน้า
สิ่งตีพิมพ์	1. An Experimental Machine Vision System for Sorting Sweet Tamarind. Journal of Food Engineering. Volume89, Issue3 2008. Page 291-297. 2. Determining the size and location of longans in bunches by image processing technique. Maejo International Journal of Science and Technology. Volume7, Issue3, 2013. Page 444-455. 3. เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพตัดแยกฝักมะขามหวาน ว.วิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 37 ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม 2549 4. อัตราส่วนปิวของและโมดูลัสความ หยัดยุ่นของผลมะเขือยาว วิทยาศาสตร์กำแพงแสน ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 2549
สัมมนาวิชาการ	1. International Conference: Sorting Sweet Tamarind Pod by Image Processing Technique. Agricultural, Food and Biological Engineering & Post harvest/Production Technology. Sofitel Raja Orchid, Khon Kaen THAILAND. 21-24 January 2007. 2. International Conference: Maturity Grading of Fresh Young coconut Fruit Based on Acoustic Property. Innovation in Agricultural, Food and Renewable Energy Production for Mankind. Suranaree University of

Technology, Nakhon Ratchasima THAILAND. 1-3April 2009.

3. Maturity Grading of Fresh Young coconut Fruit Based on Acoustic Property. Commision on Higher Education Congress 2 University Staff Development Consortium. Dusit Thani Hotel and Resort. 27-29 August 2009

4. The Progress of development quality evaluation of fresh longan in bunch by image processing tecnique. Commision on Higher Education Congress 3 University Staff Development Consortium. Royal Cliff Grand Hotel and Spa, 9-11 September 2010.

5. การคัดแยกมะขามหวานด้วยคุณลักษณะทางกายภาพและสมบัติภาพ. การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย โรงแรมอิมพีเรียลแม่งปิ้ง จ.เชียงใหม่ 2551

6. การประเมินขนาดและหาตำแหน่งลำไยบนช่อด้วยเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12. โรงแรมชมจันทร์ พัทยา รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี. 31 มีนาคม – 1 เมษายน 2554.

ผลงาน อนุสิทธิบัตร : ชุดอุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือนอย่างง่าย
ลิขสิทธิ์ : โปรแกรมวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน Vibra. เลขที่
208074