การพัฒนาโปรแกรมเพื่อคัดแยกต่อมน้ำมันจากผิวผลส้มโอแบบอัตโนมัติ

Programming for Automatically Separating Oil Glands from Pummelo Fruit Surface

กฤษฎา จินดา[1] และ กรกฎ วัฒนวิเชียร[2]

Krisada Chinda[1] and Koarakot Wattanavichean[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา Visual C++ เพื่อคัดแยกต่อมน้ำมันจากผิวผลส้มโอแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้วัดขนาดต่อมน้ำมันในการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง การพัฒนาโปรแกรมอยู่ในส่วนของการแปลงภาพสีเป็นภาพแบบทวิภาคด้วยเทคนิคการเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งแบบปรับค่าได้ โดยใช้วิธีแบ่งภาพเป็นภาพย่อย ๆ 16 ภาพ จากนั้นแบ่งภาพวัตถุออกจากพื้นหลังโดยใช้การจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึม K-means แล้วจึงนำภาพมาคำนวณหาขนาดต่อมน้ำมัน การประมวลผลภาพตั้งแต่ขั้นตอนการรับภาพส้มโอถึงการแปลงเป็นภาพแบบทวิภาค ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 0.12 วินาที/ภาพ ในกรณีต่อมน้ำมันสมบูรณ์จะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.16 วินาที/ภาพ และกรณีต่อมน้ำมันที่มีปัญหาจะใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1.14 วินาที/ภาพ ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างเฉลี่ยของขนาดต่อมน้ำมันระหว่างโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรมเดิม ของแต่ละภาพ ของแต่ละผล และของแต่ละต่อมเท่ากับ 8.44 % 2.68 % และ 0.69 % ตามลำดับ จากภาพทั้งหมด 165 ภาพ

ABSTRACT

This paper presents a program development by Visual C++ language for automatically separating oil glands from pummelo fruit surface for maturation analysis of Kao Nampheung pummelos by using size of oil glands. In developing program, color image is transformed to binary image using adaptive thresholding technique. Firstly, a whole image is divided to 16 subimages then the object and background are tracked using clustering based on the K-means algorithm. Finally, the sizes of oil glands are calculated. The average image processing time from an input image to a binary image is approximate 0.12 s/image. In case of perfect and imperfect oil glands, the image processing time is 0.16 and 1.14 s/image, respectively. The comparison of the average difference of the oil glands sizes between this program and the old program with each image, each pummelo and each gland are 8.44 %, 2.68 % and 0.69 %, respectively. (From 165 images)

Key words: adaptive thresholding, pummelo, oil glands, image processing

K. Chinda: **Kr_Chinda@hotmail.com**

[1] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.

[2] สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Pilot Plant Development and Training Institute, King Mongkut's University of Technology, Thonburi.

คำนำ

ส้มโอจัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ มีมูลค่าการส่งออกติดอันดับ 1 ใน 10 ของมูลค่าผลไม้สด ปริมาณและมูลค่าการส่งออกในปี พ.ศ. 2542 - 2546 แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่าส้มโอมีแนวโน้มการส่งออกที่ดีในอนาคต

การบ่งบอกความแก่ของผลส้มโอมีหลายวิธี เช่น การนับอายุผล (มงคล, 2536; วิเศษ, 2540) การวัดหาอัตราส่วนของน้ำตาลต่อกรด (มงคล, 2536; จริงแท้, 2542) การดูสีผิว (สุรนันต์ และคณะ, 2531; มงคล, 2536) เป็นต้น แต่วิธีที่สามารถนำมาใช้ได้จริงในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก ต้องเป็นวิธีที่รวดเร็ว แม่นยำ และเป็นการตรวจสอบที่ไม่ทำลายผล (nondestructive test) ซึ่งการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอพันธ์ขาวน้ำผึ้งโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (นพดล, 2545) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ขนาดและ/หรือความหนาแน่นของต่อมน้ำมันเป็นดัชนีในการบ่งบอกความแก่ของผลส้มโอ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอายุผลแบบสมการกำลังสอง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.86

การทำงานของโปรแกรมในงานวิจัยดังกล่าวแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวมีปัญหาในแง่การนำไปประยุกต์ใช้จริงในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออก เนื่องจากการนำภาพจากกล้องวิดีโอระบบดิจิทัลหรือกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมาใช้ประมวลผล การตัดภาพ (cropping) ให้มีขนาดที่เหมาะสม และการเลือกค่าขีดเริ่มแบ่ง (thresholding) ในการแปลงภาพจากระดับสีเทา (gray scale image) 256 ระดับเป็นภาพแบบทวิภาค (binary image) ต้องกระทำโดยผู้ใช้ ทำให้ระบบการวัดขนาดและความหนาแน่นต่อมน้ำมันบนผิวผลส้มโอไม่เป็นอัตโนมัติ และการจับเวลาในการประมวลผลภาพยังทำไม่ได้อย่างสมบูรณ์ คือไม่ใช่ระบบที่เป็นการประมวลผลแบบเวลาจริง รายละเอียดวิธีการวิจัยและคำนวณหาขนาดต่อมน้ำมันศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง (นพดล, 2545)

ด้วยเหตุนี้ในบทความนี้จะพัฒนาโปรแกรมเพื่อคัดแยกต่อมน้ำมันจากผิวผลส้มโอแบบอัตโนมัติเพื่อใช้วัดขนาดต่อมน้ำมันในการวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ซึ่งเป็นการพัฒนาในส่วนของการแปลงภาพสีเป็นภาพแบบทวิภาคด้วยเทคนิคการเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งแบบปรับค่าได้ (adaptive thresholding) โดยเป็นการเพิ่มขั้นตอนการแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา และจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพแบบทวิภาค โดยใช้โปรแกรม Visual C++ 6.0 ของบริษัท Microsoft การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของส้มโอในช่วง พ.ศ. 2542 – 2546

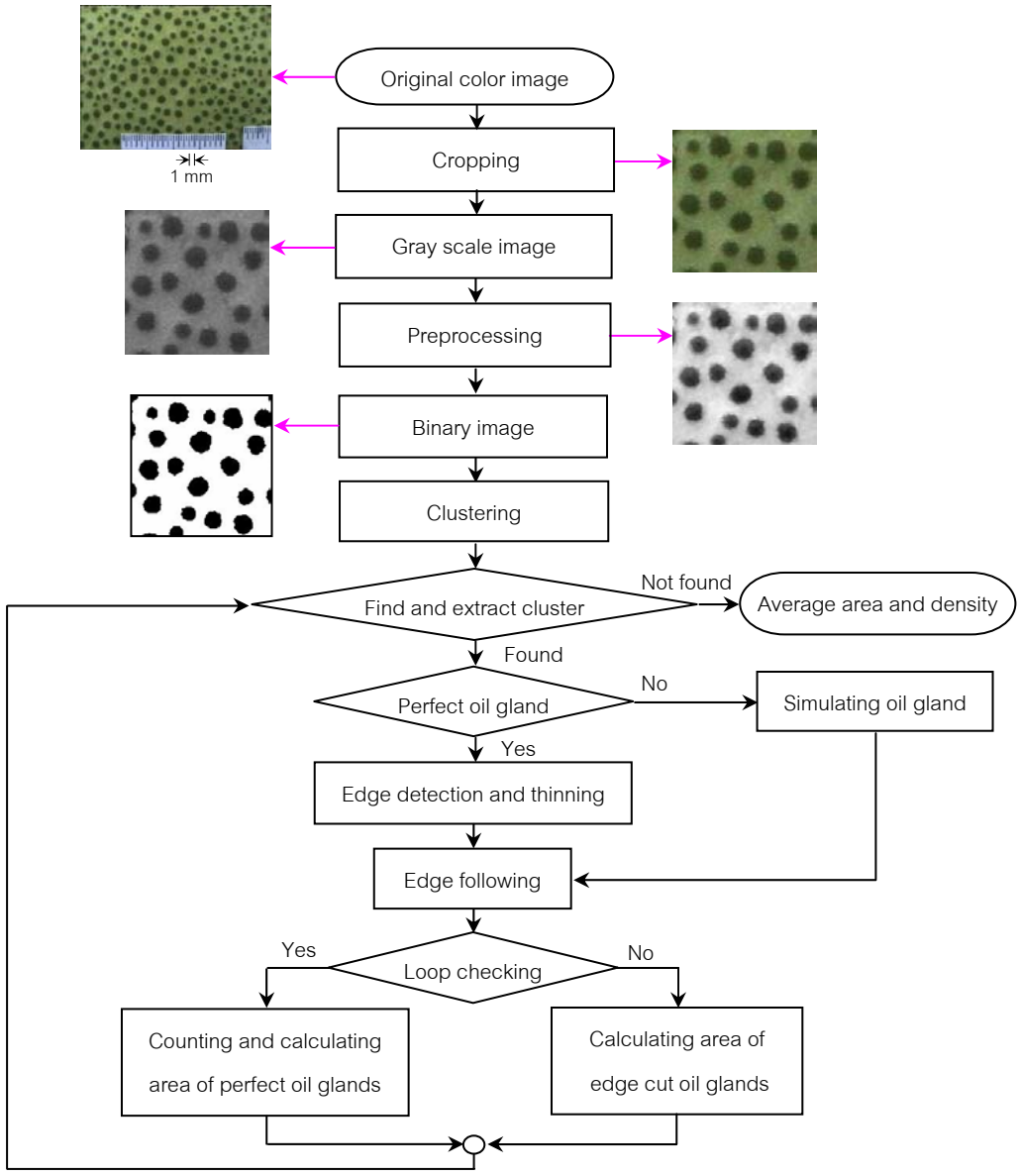
ปี	2542[1/]	2543[1/]	2544[2/]	2545[2/]	2546[2/]
ปริมาณ (ตัน)	6,432	6,208.6	6,573.5	7,517.6	7,606.8
มูลค่า (ล้านบาท)	103.47	100.41	101.53	101.39	114.12

ที่มา : [1/] กรมศุลกากร (2544), [2/] กรมศุลกากร (2547)

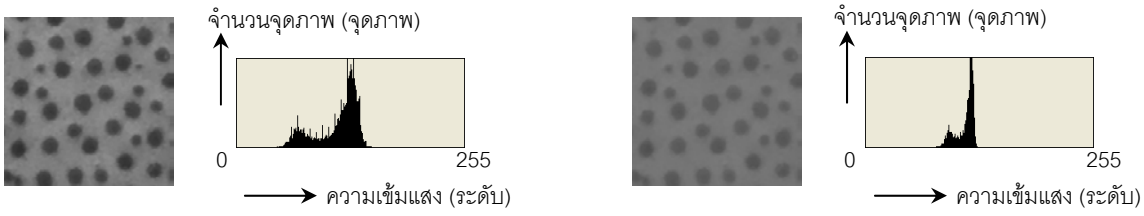
หลักการของการเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งแบบปรับค่าได้

การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาในงานวิจัยของนพดล (2545) จะใช้แบบจำลองสี RGB ซึ่งในบทความนี้จะใช้แบบจำลองสีอื่น เนื่องจากในการคัดแยกสีผิวภายนอกของผักและผลไม้ นิยมใช้แบบจำลองสี Hunter Lab และ CIE L*a*b* (Shewfelt และ Prussia, 1992) โดยใช้ภาพจากช่องสี L (lightness channel) เป็น

ภาพระดับสีเทา ทำให้มีช่วงกว้างของโทนสีเทามากกว่าการแปลงภาพโดยใช้แบบจำลองสี RGB และทำให้เงาของภาพสว่างขึ้น (Volk, 1997) โดยจะทำให้การแปลงภาพกระทำได้ง่ายกว่า รูปที่ 2 แสดงภาพระดับสีเทาและฮิสโทแกรมของภาพที่แปลงจากแบบจำลองสีทั้งสองแบบ โดยสเกลแกนตั้งของฮิสโทแกรมในรูป ข มีค่าประมาณ 2 เท่าของรูป ก



รูปที่ 1 การทำงานของโปรแกรมวัดขนาดและความหนาแน่นของต่อมน้ำมันที่มีการสร้างต่อมน้ำมันเสมือนของนพดล (2545)



(ก) (ข)

รูปที่ 2 ภาพระดับสีเทาและฮิสโทแกรมของภาพที่แปลงจากแบบจำลองสี (ก) RGB และ (ข) L*a*b* ตามลำดับ

การปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผล จะใช้ตัวกรองมัธยฐาน (median filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนในภาพลง ทำให้การเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งในขั้นตอนถัดไปกระทำได้ง่ายขึ้น

การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพแบบทวิภาค มีปัญหาในการเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งคือแสงในภาพไม่สม่ำเสมอ การเลือกค่าใดค่าหนึ่งมาใช้ทั้งภาพไม่สามารถทำได้ ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มแสงที่ส่องลงมายังตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวผลส้มโอ ดังนั้นจะต้องเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งโดยพิจารณาถึงตำแหน่งของจุดภาพนั้น ๆ หรือนำค่าของจุดภาพข้างเคียงมาใช้ในการตัดสินใจ เรียกวิธีดังกล่าวว่า “การเลือกขีดเริ่มแบ่งแบบปรับค่าได้" ซึ่งมีอยู่หลายวิธีดังนี้

1. แบ่งภาพเป็นภาพย่อย ๆ แล้วเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งในแต่ละภาพย่อยนั้น ๆ วิธีนี้เหมาะสำหรับภาพที่มีแสงไม่สม่ำเสมอ แต่ต้องรับค่าขีดเริ่มแบ่งในแต่ละภาพย่อยจากผู้ใช้ (Gonzalez และ Woods, 2001)

2. การใช้ adaptive threshold processor (ATP) แบ่งภาพออกเป็นภาพย่อย ๆ โดยเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งในภาพย่อยซึ่งสลับระหว่างการเลือกแบบ global thresholding และแบบ local thresholding การเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งแบบ global thresholding ใช้ในบริเวณที่ความเข้มแสงของพื้นหลังมีค่าสม่ำเสมอ ในขณะที่แบบ local thresholding ใช้ในบริเวณที่ความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลง (transition) นั่นคือในกรณีภาพผิวผลส้มโอจะเป็นบริเวณขอบของต่อมน้ำมัน การหาขอบของต่อมน้ำมัน (วัตถุในภาพ) ทำได้โดยใช้ตัวดำเนินการเกรเดียนต์ วิธีนี้มักใช้สำหรับการคัดแยกตัวอักษรที่มีความคมชัดต่ำออกจากพื้นหลัง แต่มีข้อเสียคือมีความไวต่อสัญญาณรบกวน และต้องรับค่าขีดเริ่มแบ่งเริ่มต้นจากผู้ใช้ (Savakis, 1998)

3. การจัดกลุ่มพื้นหน้าและพื้นหลัง (foreground and background clustering, FBC) ใช้หลักการจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึม K-means โดยมีค่า K (จำนวนกลุ่ม) เท่ากับ 2 วิธีนี้เหมาะสำหรับการคัดแยกภาพที่มีเพียงวัตถุและพื้นหลังเท่านั้น โดยไม่ต้องรับค่าจากผู้ใช้ (Savakis, 1998)

4. วิธี boundary characteristics for histogram improvement and local thresholding เป็นการใช้ค่าขอบของวัตถุที่ได้มาจากการใช้ตัวดำเนินการเกรเดียนต์และลาปลาเซียน และนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาส่วนที่เป็นวัตถุและพื้นหลังของภาพ วิธีนี้เหมาะสำหรับภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงควาเข้มแสงเฉพาะที่ขอบของวัตถุและพื้นหลังเท่านั้น (Gonzalez และ Woods, 2001)

5. adaptive thresholding by variational method ในการดำเนินการหาขอบของวัตถุโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนการประยุกต์ใช้ค่าขีดเริ่มแบ่งและการลดขอบกับค่าเกรเดียนต์ของขนาดความเข้มแสง จากนั้นจะสุ่มเลือกภาพที่มีขอบวัตถุชัดเจนแล้วนำมาทำ local thresholding แต่วิธีดังกล่าวนี้จะหาค่าขีดเริ่มแบ่งได้ยาก ดังนั้น Chan และคณะ (1998) จึงเสนอวิธีใช้ทฤษฎีความแปรปรวนมาสร้างแบบจำลองที่เรียกว่า adaptive thresholding surface แทนการใช้ขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นในการหาขอบวัตถุ จากนั้นจึงนำ adaptive thresholding surface มาใช้แปลงภาพเป็นแบบทวิภาคต่อไป วิธีนี้มีข้อเสียคือขึ้นอยู่กับการเลือกค่า α ในสมการปัวส์ซองของ local threshold และใช้เวลาในการคำนวณ adaptive thresholding surface นาน รายละเอียดทฤษฎีความแปรปรวนสำหรับหาค่าขีดเริ่มแบ่งแบบปรับค่าได้ศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง (Chan et al., 1998)

ดังนั้นในบทความนี้จะเลือกใช้หลักการร่วมกันระหว่าง วิธีแบ่งเป็นภาพย่อย ๆ และการจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึม K-means เนื่องจากเป็นการลดผลของแสงไม่สม่ำเสมอ ไม่จำเป็นต้องรับค่าขีดเริ่มแบ่งเริ่มต้นจากผู้ใช้ และเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ทำให้เวลาที่ใช้ประมวลผลน้อยลง

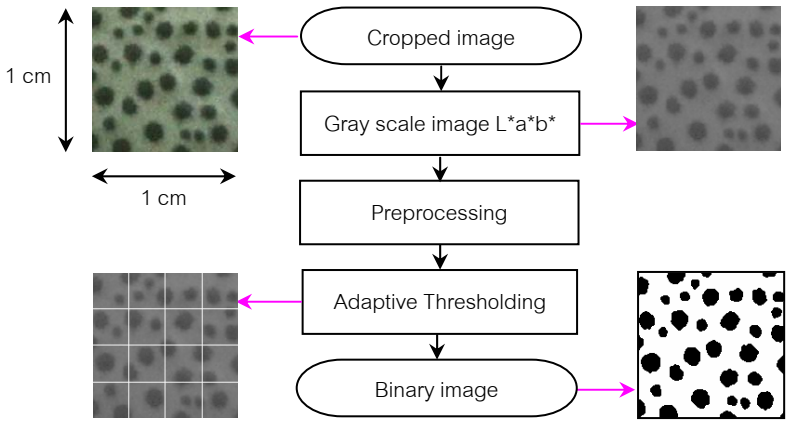
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

เครื่องคอมพิวเตอร์ AMD Athlon XP 1700+ RAM 256 MB, ภาพถ่ายผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งของนพดล (2545) จำนวน 165 ภาพ จากส้มโอจำนวน 11 ผล ผลละ 6 – 18 ภาพ

วิธีการ

นำภาพภาพถ่ายผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจำนวน 165 ภาพ ที่ทำการตัดภาพแล้วมีขนาด 1×1 เซนติเมตร ประมวลผลด้วยโปรแกรมวัดขนาดและความหนาแน่นของต่อมน้ำมันที่พัฒนาขึ้นจากการแทนขั้นตอนตั้งแต่การรับภาพผิวผลส้มโอจนถึงการแปลงภาพเป็นแบบทวิภาคด้วย “โปรแกรมคัดแยกต่อมน้ำมันจากผิวผลส้มโอแบบอัตโนมัติ” แสดงในรูปที่ 3 โดยโปรแกรมจะมีการสร้างต่อมน้ำมันเสมือนในต่อมน้ำมันที่ถูกแมลงทำลายบางส่วน ต่อมน้ำมันที่ถูกแมลงทำลายจนขาดแหว่ง และต่อมน้ำมันที่ติดกัน จากนั้นหาค่าเฉลี่ยขนาดต่อมน้ำมันที่ไม่อยู่ในบริเวณขอบภาพ ของต่อมน้ำมันทุกต่อมในทุก ๆ ภาพ นำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเดิมที่มีอยู่ เพื่อหาความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันจากการคัดแยกโดยใช้โปรแกรมเดิมกับโปรแกรมใหม่ และหาเวลาในการประมวลผลภาพด้วยคำสั่งที่เขียนด้วยฟังก์ชัน clock() ของไฟล์เฮดเดอร์ time.h ในภาษา C++



รูปที่ 3 การทำงานของโปรแกรมคัดแยกต่อมน้ำมันจากผิวผลส้มโอแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนการเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งแบบปรับค่าได้ (Adaptive Thresholding)

ใช้หลักการร่วมกันระหว่างวิธีแยกเป็นภาพย่อย ๆ และการจัดกลุ่มด้วยอัลกอริทึม K-means ในที่นี้จะคัดแยกภาพออกเป็น 2 กลุ่ม (K = 2 levels) คือ ต่อมน้ำมันบนผิวผลส้มโอเป็นพื้นหน้า และผิวผลส้มโอเป็นพื้นหลัง เรียกว่า foreground and background clustering (FBC) มีขั้นตอนดังในรูปที่ 4 อธิบายได้ดังนี้

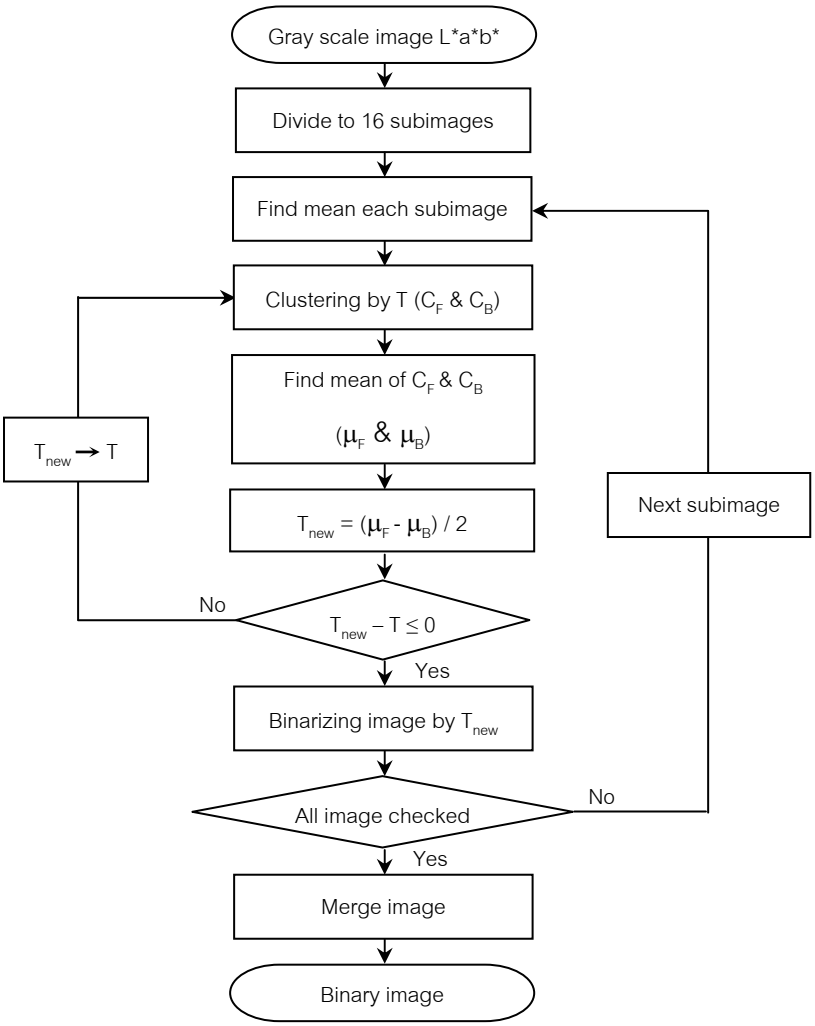
1. แบ่งภาพระดับสีเทาออกเป็นภาพย่อย ๆ 16 ส่วนเท่า ๆ กัน ซึ่งจะทำให้สัดส่วนจำนวนจุดภาพของต่อมน้ำมันและผิวผลส้มโอใกล้เคียงกัน

2. หาค่าเฉลี่ยระดับสีเทาของภาพย่อยแต่ละภาพ (T) เพื่อนำมาแบ่งภาพออกเป็นกลุ่มพื้นหน้า (C_F: foreground cluster) และพื้นหลัง (C_B: background cluster)

3. หาค่าเฉลี่ยระดับสีเทาของกลุ่มพื้นหน้า (μ_F) และกลุ่มพื้นหลัง (μ_B)

4. นำค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าขีดเริ่มแบ่งใหม่ (T_{new}) ถ้าความแตกต่างระหว่างค่าขีดเริ่มแบ่งใหม่กับค่าขีดเริ่มแบ่งเก่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่ยอมรับได้ (ในที่นี้กำหนดเป็นศูนย์) จะได้ค่าขีดเริ่มแบ่งที่ใช้แปลงเป็นภาพแบบทวิภาคในภาพย่อยนั้น ถ้ามีค่ามากกว่าศูนย์จะใช้ค่าขีดเริ่มแบ่งใหม่มาแบ่งกลุ่มอีกในขั้นตอนที่ 2

5. ทำจนครบทั้งภาพแล้วรวมภาพทั้งหมด จะได้ภาพแบบทวิภาค



รูปที่ 4 ขั้นตอนการเลือกค่าขีดเริ่มแบ่งแบบปรับค่าได้

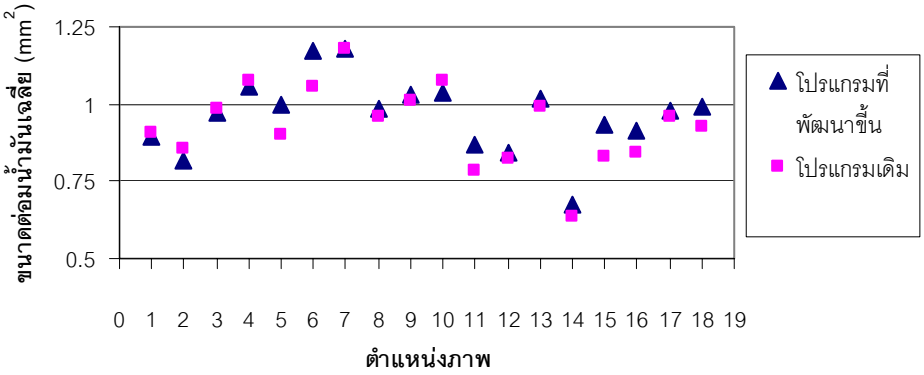
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการประมวลผลโปรแกรมเพื่อคัดแยกต่อมน้ำมันจากผิวผลส้มโอแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่ขั้นตอนการรับภาพส้มโอถึงการแปลงเป็นภาพแบบทวิภาค จะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยประมาณ 0.12 วินาที/ภาพ หลังจากกระบวนการนี้ จะแยกการประมวลผลต่อมน้ำมันเป็น 2 กรณีคือ ต่อมน้ำมันสมบูรณ์และต่อมน้ำมันมีปัญหา กรณีต่อมน้ำมันสมบูรณ์จะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยตั้งแต่ขั้นตอนการรับภาพส้มโอจนถึงการหาค่าเฉลี่ยขนาดต่อมน้ำมันประมาณ 0.16 วินาที/ภาพ ในขณะที่กรณีต่อมน้ำมันมีปัญหาจะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยประมาณ 1.14 วินาที/ภาพ

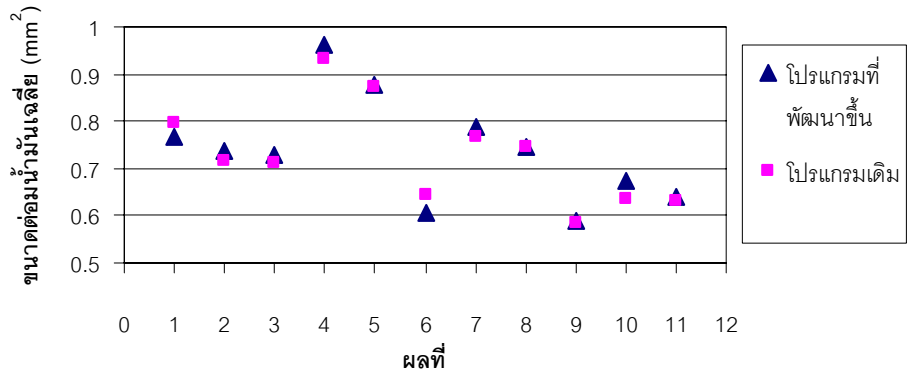
รูปที่ 5 แสดงขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งภาพในหนึ่งผล ความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรมเดิมอยู่ในช่วง 0.00289 – 0.10933 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 0.58 - 21.37 % ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 0.04901 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 8.44 %

รูปที่ 6 แสดงขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยในแต่ละผล ความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรมเดิมอยู่ในช่วง 0.00143 – 0.03829 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 0.19 – 6.02 % ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 0.01926 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 2.68 %

ค่าเฉลี่ยของขนาดต่อมน้ำมันแต่ละต่อมรวมกันทุกภาพมีค่าเท่ากับ 0.70469 ตารางมิลลิเมตร ในขณะที่โปรแกรมเดิมมีค่าเท่ากับ 0.69983 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 0.69 %



รูปที่ 5 ขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งภาพในหนึ่งผล



รูปที่ 6 ขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยในแต่ละผล

จะเห็นว่าเวลาในการประมวลผลโปรแกรมในกรณีต่อมน้ำมันมีปัญหาจะใช้เวลามาก ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างต่อมน้ำมันเสมือนจะใช้เวลานานกว่าส่วนอื่น ๆ แต่ยังมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เพื่อคำนวณหาขนาดต่อมน้ำมันในกรณีที่ภาพต่อมน้ำมันมีปัญหา ซึ่งเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมเดิมมีค่าเฉลี่ยเป็น 2.13 วินาที/ภาพ ทั้งนี้เวลาในการประมวลผลยังขึ้นกับชนิดของ CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลด้วย

จากผลการทดลอง พบว่าขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมเดิม และขนาดต่อมน้ำมันที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อหาขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยโดยใช้จำนวนต่อมน้ำมันทั้งหมดทุกต่อมในทุกภาพมาคิดรวมกัน

สรุป

1. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อประมวลผลภาพตั้งแต่ขั้นตอนการรับภาพสัมโอถึงการแปลงเป็นภาพแบบทวิภาค จะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยประมาณ 0.12 วินาที/ภาพ ในกรณีต่อมน้ำมันสมบูรณ์จะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยตั้งแต่ขั้นตอนการรับภาพสัมโอจนถึงการหาค่าเฉลี่ยขนาดต่อมน้ำมัน มีค่าประมาณ 0.16 วินาที/ภาพ ในขณะที่กรณีต่อมน้ำมันที่มีปัญหาจะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยประมาณ 1.14 วินาที/ภาพ

2. ผลการเปรียบเทียบโปรแกรมเดิมกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยของแต่ละภาพในหนึ่งผลเท่ากับ 8.44 % ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยในแต่ละผลเท่ากับ 2.68 % และค่าความแตกต่างของขนาดต่อมน้ำมันเฉลี่ยแต่ละต่อมรวมกันทุกภาพมีค่าเท่ากับ 0.69 %

เอกสารอ้างอิง

กรมศุลกากร. 2544. สถิติการนำเข้า-ส่งออกสินค้า. แหล่งที่มา : http://www.customs.go.th, 21 กุมภาพันธ์ 2544.

กรมศุลกากร. 2547. สถิติการนำเข้า-ส่งออกสินค้า. แหล่งที่มา : http://www.customs.go.th, 17 กุมภาพันธ์ 2547.

นพดล อรุณยะเดช. 2545. การวิเคราะห์ความแก่ของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 76 น.

Carl N. Volk. 1997. Photoshop Tip of the Week. แหล่งที่มา : http://www.carlvolk.com/photoshop21.htm, 19 กุมภาพันธ์ 2547.

Chan, Francis H. Y., F. K. Lam and Hui Zhu. 1998. Adaptive Thresholding by Variational Method. IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 7, No. 3, March, 1998. pp. 468-473.

Gonzalez, R. C. and R. E. Woods. 2001. Digital Image Processing. Prentice Hall, New Jersey, USA. 793 p.

Savakis, A. E. 1998. Adaptive Document Image Thresholding Using Foreground and Background Clustering. ICIP 98.

Shewfelt, R. L. and S. E. Prussia. 1992. Postharvest Handling: A Systems Approach. Academic Press, San Diego, USA. 358 p.