การคัดแยกวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ (Object Classification by Image Processing)

สมหมาย บัวแย้มแสง

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

Email : sommai_buayam@hotmail.com

บทคัดย่อ

การคัดแยกวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ เป็นการนำภาพวัตถุชนิดต่าง ๆ กันมาผ่านขั้นตอนการประมวลผล เพื่อสามารถแยกแยะภาพวัตถุแต่ละชนิดออกจากกันได้ตามความแตกต่างของรูปทรงและขนาด โดยเริ่มจากนำภาพสีมาแปลงเป็นภาพเทาและแปลงเป็นภาพขาวดำ เพื่อลดข้อมูลภาพให้ง่ายในการประมวลผล ในการแปลงจากภาพเทาเป็นภาพขาวดำอาจใช้ค่าจุดตัดที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลอง หรือคำนวณหาค่าโดยใช้วิธีการของ Otsu จากนั้นแยกภาพวัตถุแต่ละชนิดออกมาจากภาพรวม โดยพิจารณาจากความต่อเนื่องของจุดภาพ จากนั้นแก้ไขข้อมูลภาพที่ได้โดยการ ย่อภาพ ขยายภาพหรือหมุนภาพ เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมกับภาพต้นแบบ ในบางกรณีอาจมีความผิดพลาดที่เกิดจากบางส่วนของภาพวัตถุขาดออกจากกัน ซึ่งแก้ไขได้โดยการทำ Thickening จากนั้นขั้นตอนสุดท้ายคือนำภาพวัตถุที่ได้ไปเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ ถ้าวางทับกันสนิทพอดีจะได้ค่าความเหมือนเป็น 100 % ซึ่งในความเป็นจริงเราจะกำหนดค่าความเหมือนในระดับที่ยอมรับได้

คำสำคัญ : การคัดแยกวัตถุ ค่าจุดตัด, วิธีการของ Otsu, ภาพต้นแบบ

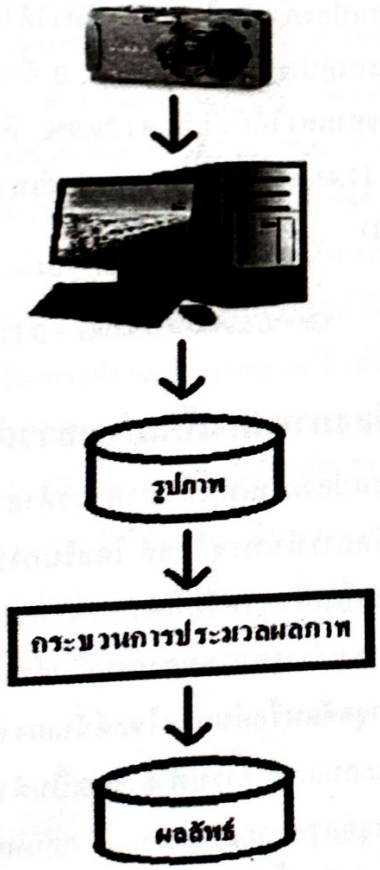
ABSTRACT

Object classification by image processing is the process of classifying base on their shapes and sizes. To be able to distinguish objects from one another as each of the different shapes and sizes. In the first step, a color image is converted into a gray image and then is converted into a black and white image too for reduce an image data. To convert from gray image to black and white image may be use the best threshold is obtained from an experiment or calculated using the Otsu's method. Second step, objects are separated from each image by considering the continuity of image pixel. The image results usually are corrected by adjust shape, size and angle before to compare with template. And in some cases there may be errors resulting from the lack of some of the objects from each other and is solved by Thickening process. Finally, bring the object to compare with the original image. The result of the comparison is values as 100% if the fit in comparing. In fact, we would like to configure the acceptable level.

Keywords : Object classification, Threshold, Otsu's method, Template

1. บทนำ

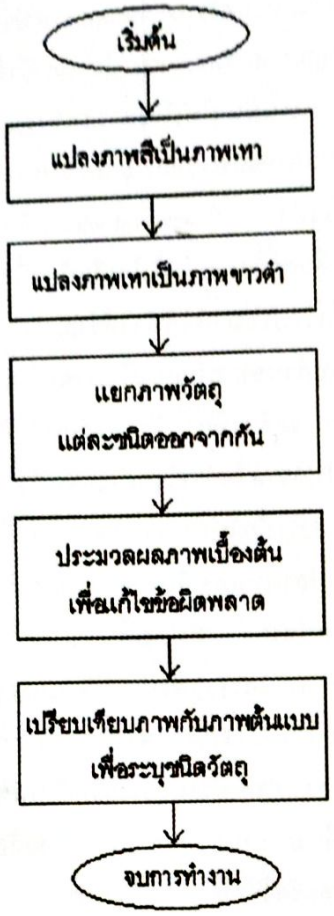
ในการคัดแยกวัตถุที่มีรูปทรงแตกต่างกัน ถ้าใช้วิธีการประมวลผลภาพมาช่วย จะเป็นการเพิ่มความรวดเร็วและอำนวยความสะดวกให้แก่ระบบ เช่น การคัดแยกชิ้นงานที่ไหลมาบนสายพานในระบบอุตสาหกรรม การแยกภาพผลไม้แต่ละชนิด [1] เพื่อบรรจุลงกล่อง การแยกภาพนกออกจากภาพพื้นหลัง [2] เป็นต้น การคัดแยกวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพมีขั้นตอนพื้นฐานดังรูปที่ 1 โดยการนำภาพที่อยู่ในรูปไฟล์ดิจิตอลที่ได้จากกล้อง มาเก็บไว้ในฐานข้อมูลภาพของคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำแต่ละภาพมาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพโดยรายละเอียดของขั้นตอนจะอยู่ในหัวข้อถัดไป ซึ่งจะให้ผลลัพธ์เป็นการระบุชนิดของวัตถุในภาพ ทำให้ระบบโดยรวมมีความสะดวกรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 1 ระบบคัดแยกผลไม้โดยการประมวลผลภาพ

ในกระบวนการประมวลผลภาพ มีขั้นตอนดังรูปที่ 2 โดยนำข้อมูลภาพแต่ละภาพมาพิจารณาถ้าข้อมูลภาพเป็นภาพสี จะทำการแปลงให้เป็นภาพเทา (gray) โดยใช้การเกลี่ยน้ำหนักขององค์ประกอบสีและจากภาพเทาแปลงให้เป็นภาพขาวดำ (black and white) ก่อนที่จะนำไปประมวลผลเพื่อลดข้อมูลภาพให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น ซึ่งจะทำให้การประมวลผลทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ในขั้นตอนการเปลี่ยนจากภาพเทาเป็นภาพขาวดำ หรือภาพไบนารี่ (binary) จะต้องมีการเลือกค่าที่จะใช้ตัดสินใจว่าจะกำหนดให้เป็นขาวหรือดำ เรียกค่าจุดตัดนี้ว่าค่าเทรสโชลด์ (threshold) [3] เมื่อได้ค่าเทรสโชลด์แล้วจึงนำมาใช้ในขั้นตอนการแปลงภาพเทาเป็นภาพขาวดำ ขั้นตอนต่อไปคือ การแยกภาพวัตถุ แต่ละชิ้นออกจากกัน (Region segmentation method) [5] ซึ่งเป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพ โดยพิจารณาจากตำแหน่งของจุดภาพและค่าหรือคุณสมบัติของจุดภาพ ซึ่งในกรณีภาพที่เป็นขาวดำจะมีค่าเพียงสองค่าคือ 0 กับ 1 โดยจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีค่าเหมือนกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

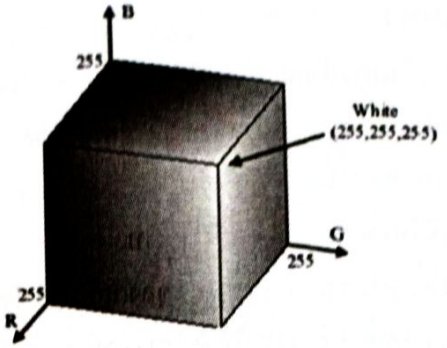
ภาพวัตถุแต่ละภาพที่แยกออกมาได้ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ (Template) เพื่อระบุว่าเป็นผลไม้ชนิดใด ซึ่งเราเรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการรู้จำ (Recognition process) แต่ก่อนที่จะนำภาพไปเปรียบเทียบเราต้องมีการประมวลผลเบื้องต้นก่อนเพื่อให้ภาพมีขนาดและทิศทางที่เหมาะสมกับภาพต้นแบบ โดยการหมุนภาพ ย่อภาพหรือขยายภาพ ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบจะเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความเหมือน ซึ่งต้องกำหนดลงไปว่าค่าเปอร์เซ็นต์อย่างต่ำเท่าใดจึงจะระบุว่าวัตถุชนิดนั้นๆ ได้ เมื่อสามารถระบุได้ว่าแต่ละภาพเป็นวัตถุชนิดใด ก็เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการคัดแยกวัตถุโดยการประมวลภาพ สำหรับรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน จะเสนอในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

2. การแปลงภาพสีเป็นภาพเทา

ภาพสีตามมาตรฐาน RGB [2] ประกอบด้วย 3 แม่สีหลัก ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ถ้านำแต่ละแม่สีมาสร้างระบบพิกัด Color Space โดยแต่ละสีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 (0 แสดงถึงสีดำ และ 255 แสดงถึงสีขาว) จะทำให้ได้ภาพการผสมสีทางแสง ดังรูปที่ 3 โดยสีแต่ละแม่สีมีขนาด 8 บิต ดังนั้นสามสีรวมกันจะมีค่าเท่ากับ 24 บิต ซึ่งสามารถแสดงสีที่แตกต่างกันได้ถึง 16,777,216 สี



รูปที่ 3 Color model ของสีมาตรฐาน RGB

ดังนั้นภาพสีขนาด 24 บิต จะมีค่าสีของ Pixel อยู่ในช่วงที่ประกอบด้วย

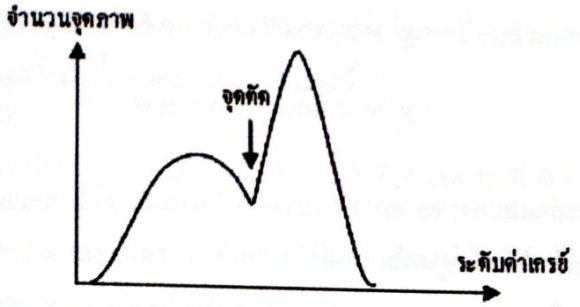
R ระดับ 0 จนถึง 255 ($0 \leq R \leq 255$)
G ระดับ 0 จนถึง 255 ($0 \leq G \leq 255$)
B ระดับ 0 จนถึง 255 ($0 \leq B \leq 255$)

การแปลงภาพสีเป็นภาพเทา ทำได้โดยการเฉลี่ยน้ำหนักแต่ละองค์ประกอบของสี R, G, B ซึ่งพิจารณาจากค่าความเข้มของแสงได้ดังนี้ สีแดง 29.9% สีเขียว 58.9% และสีน้ำเงิน 11.4% ดังนั้นค่าของจุดภาพสีเทา (Gr) หาได้จากสมการ (1)

$$Gr = 0.299R + 0.589G + 0.114B \quad (1)$$

3. การแปลงภาพเทาเป็นภาพขาวดำ

การแปลงภาพเทาเป็นภาพขาวดำสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการทำเทรชโชลด์ โดยในการพิจารณาว่าจุดภาพใดจะเป็นสีขาวหรือสีดำ จะกระทำโดยการเปรียบเทียบระหว่างจุดภาพของภาพเริ่มต้นกับค่าคงที่ค่าหนึ่งที่เรียกว่าจุดตัดหรือค่าเทรชโชลด์นั่นเอง ตำแหน่งของจุดตัดที่เหมาะสมแสดงดังรูปที่ 4 โดยเป็นตำแหน่งจุดตัดแบ่งกลุ่มของจุดภาพออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มหนึ่งจะเป็นตัวภาพอีกกลุ่มจะเป็นพื้นหลัง ค่าของจุดภาพใด ๆ ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโชลด์จะถูกเปลี่ยนเป็น 0 (จุดดำ)



รูปที่ 4 ตำแหน่งจุดตัดหรือค่าเทรชโชลด์

ในการสร้างภาพขาวดำโดยใช้เทคนิคเทรชโชลด์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและคมชัด [4] สิ่งที่สำคัญที่สุดคือค่าเทรชโชลด์ เนื่องจากถ้าเลือกค่าที่ไม่เหมาะสม (ค่าเทรชโชลด์ที่มีค่าน้อยเกินไปหรือมากเกินไป) ภาพที่ได้จะไม่สมบูรณ์ หรือมีสิ่งรบกวน (Noise) เกิดขึ้น การเลือกค่าเทรชโชลด์จะขึ้นอยู่กับ ค่าโดยรวมของภาพที่จะนำมาประมวลผล โดยค่าที่เลือกมานี้จะเป็นค่าที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับความเข้มแสงของภาพ เช่น ภาพอินพุทมีระดับความเข้มแสง 256 ระดับ ค่าเทรชโชลด์จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 - 255 การเลือกค่าเทรสโชลด์ที่เหมาะสมมีอยู่หลายวิธี เช่นวิธีกำหนดค่าเทรสโชลด์ล่วงหน้า (Pre-assigned Threshold value) [1] วิธีนี้ต้องทำการทดลองสุ่มค่าเองหลายๆค่า จากนั้นเปรียบเทียบหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้วจึงเลือกค่านั้น ในการใช้งานจริงวิธีนี้จะไม่เป็นที่นิยม ส่วนมากจะเลือกใช้วิธีที่ให้ระบบทำการคำนวณหาค่าเทรสโชลด์ที่ดีที่สุดโดยอัตโนมัติ ตัวอย่างหนึ่งของวิธีนี้คือวิธีคำนวณหาค่าจุดตัดของ Otsu [4] ซึ่งใช้หลักการของการกระจายค่าความน่าจะเป็นของฮิสโตแกรม [3] บนข้อมูลภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ กำหนดให้

$$p_i = n_i / N \qquad (2)$$

เมื่อ n_i คือจำนวนจุดภาพที่ระดับเกรย์ i เมื่อ N คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดดังนั้น p_i คือค่าความน่าจะเป็นของจุดภาพที่ระดับเกรย์ i ถ้าจุดตัดอยู่ที่ตำแหน่ง k เรากำหนดให้

$$\omega(k) = p_0 + p_1 + p_2 + \ldots + p_k$$

$$\mu(k) = p_{k+1} + p_{k+2} + p_{k+3} + \ldots + p_{L-1}$$

เมื่อ L คือจำนวนของระดับค่าเกรย์ ดังนั้น L-1 จะเป็นค่าสูงสุด จะได้

$$\omega(k) + \mu(k) = p_0 + p_1 + p_2 + \ldots + p_{L-1} = 1$$

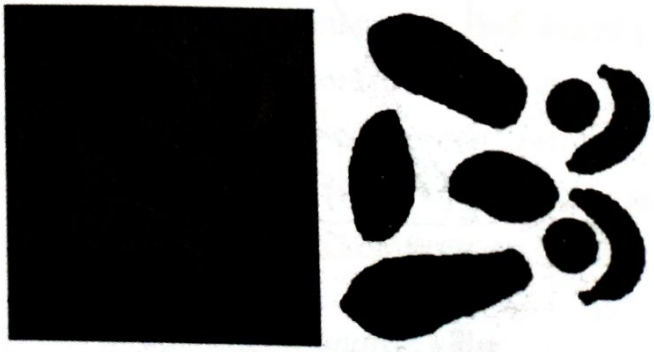
หาค่าเฉลี่ย

$$Av = p_1 + 2*p_2 + 3*p_3 + \ldots + (L-1)*p_{L-1}$$

จากนั้นคำนวณซ้ำค่า k เพื่อให้ได้ค่าสูงสุดของ y จากสมการ (3)

$$y = (Av*\omega(k) - \mu(k))^2 / \omega(k)*\mu(k) \qquad (3)$$

เมื่อเครื่องหมาย "*" แทนการคูณ ค่า k ที่คำนวณได้ค่า y สูงสุดคือตำแหน่งจุดตัดที่เหมาะสมที่ได้จากวิธีการของ Otsu ซึ่งจะนำไปใช้เป็นจุดตัดระดับค่าเกรย์ในการแปลงภาพเทาเป็นภาพขาวดำ โดยค่าที่ต่ำกว่าค่า k จะถูกเปลี่ยนเป็น 0 หรือสีดำส่วนค่าที่สูงกว่าหรือเท่ากับค่า k จะถูกเปลี่ยนเป็น 1 หรือสีขาว รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของการแปลงภาพผลไม้จากเทาเป็นภาพขาวดำตามวิธีนี้



รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพที่แปลงจากเทาเป็นขาวดำ

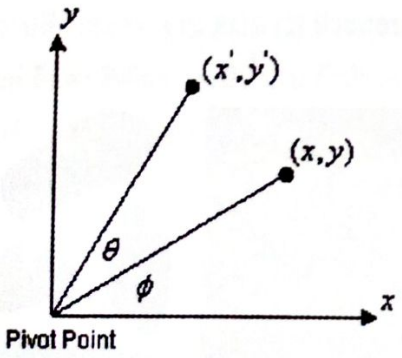
4. การแยกภาพออกจากกัน

การแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ หรือเรียกว่าการทำ Region Segmentation จะทำให้สามารถแยกภาพส่วนที่ต้องการออกจากส่วนอื่น ๆ วิธีการพื้นฐานสำหรับการแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ คือการพิจารณาค่าสูงสุดของแต่ละจุดภาพ ได้แก่การพิจารณาความสว่างของภาพสำหรับชนิดภาพเทา และความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี นอกจากนี้ขอบของภาพและลักษณะของ Texture ก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งแยกภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น

ในกรณีที่เป็นภาพขาวดำการทำ Region Segmentation จะมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนโดยการรวมจุดภาพที่อยู่ติดกัน ให้เป็นเซทของตัวเลขชุดเดียวกัน ทำการคัดลอกรูปของเซทตัวเลขเดียวกันลงบนรูปสี่เหลี่ยมรูปใหม่ ขนาดเท่ากับรูปของเซทตัวเลขนั้น และกำจัดภาพส่วนเกินโดยการเปลี่ยนส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เซทตัวเลขของภาพที่ต้องการให้เป็นสีขาวทั้งหมด

5. การหมุน การย่อและการขยายภาพ

การหมุนภาพคือการหมุนตำแหน่งของทุกๆจุดภาพในระนาบ XY รอบจุดหมุน (Pivot point) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การหมุนภาพรอบจุดหมุน

ตำแหน่งใหม่ของจุดภาพหลังการหมุนหาได้จากสมการ (4) และ (5)

$$x' = x\cos(\theta) - y\sin\theta \quad (4)$$

$$y' = x\sin(\theta) - y\cos\theta \quad (5)$$

การย่อและการขยายภาพสามารถทำได้โดยการใช้ Scaling factor ได้แก่ S_x และ S_y ซึ่งใช้สำหรับการย่อและการขยายภาพในทางแกน x และแกน y ตามลำดับ โดยถ้า $0 < S_x, S_y < 1$ แสดงว่าเป็นการย่อภาพและ $S_x, S_y > 1$ แสดงว่าเป็นการขยายภาพตำแหน่งใหม่ของจุดภาพจากสมการ (6) และ (7)

$$x' = x.S_x \quad (6)$$

$$y' = y.S_y \quad (7)$$

6. การแก้ไขภาพวัตถุที่ไม่ต่อเนื่องกันโดยใช้วิธีการขยายภาพ

ภาพวัตถุเมื่อผ่านการแปลงเป็นภาพขาวดำจากขั้นตอนที่ 3 ภาพบางภาพอาจมีความผิดพลาดคือ ส่วนของภาพที่มีเนื้อที่แคบอาจจะขาดออกจากกัน ตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 7 ซึ่งเป็นภาพนกส่วนหัว ปีกหรือหางได้ขาดออกจากลำตัว สามารถแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธีการเพิ่มขนาดภาพ (Thickening) [3]

รูปที่ 7 ภาพนกที่มีบางส่วนขาดออกจากลำตัว

โดยอาศัยหลักการดังนี้ สมมุติให้ A และ B แทนเซตของ pixel ดังนั้นDilation ของ A โดย B แทนด้วยสัญลักษณ์ $A \oplus B$ดังสมการ (8)

$$A \oplus B = \bigcup Ax : x \in B \quad (8)$$

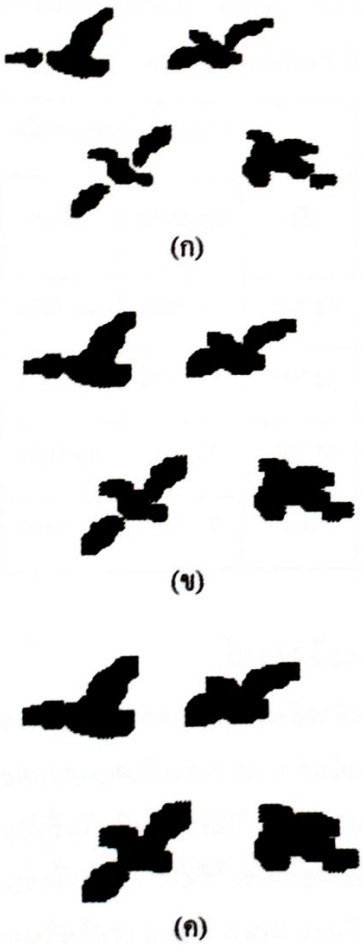
ความหมายคือทุก ๆ พิกัด x ∈ B จะถูกเปลี่ยนตำแหน่งจากนั้นนำทั้งหมดมา Union กันดังนี้

$$A \oplus B = \{ (x, y) + (u, v) : (x, y) \in A , (u, v) \in B \}$$

Thickening ของ A โดย B แทนด้วยสัญลักษณ์ $A \Theta B$ ดังสมการ (9)

$$A \Theta B = (A \oplus B^1) \oplus B^2)...) \oplus B^n) \quad (9)$$

ความหมายคือนำเซต A มา Dilation โดย B เป็นจำนวน n ครั้งขึ้นอยู่ว่าต้องการให้ภาพหนาเท่าใด จากภาพนกในรูปที่ 5 นำมาผ่านขั้นตอนการทำ Thickening โดยให้ n = 3 ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 8



(ก) (ข) (ค)

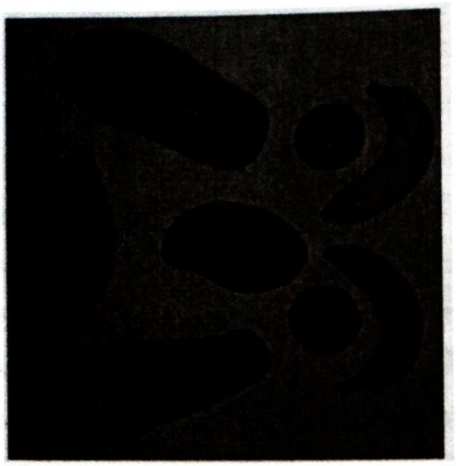
รูปที่ 8 ภาพนกที่ได้จากการขยายภาพเมื่อ (ก) n=1 (ข) n=2 และ (ค) n=3

7. การระบุชนิดของวัตถุ

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนที่สำคัญของระบบ เพราะเป็นส่วนที่จะตัดสินว่ารูปที่รับเข้ามาเป็นรูปของวัตถุชนิดใด โดยจะใช้กระบวนการรู้จำ (Recognition) แบบวิธีการเข้าคู่ภาพต้นแบบ (Template Matching) ซึ่งวิธีนี้ เป็นวิธีการแรก ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการ Recognition โดยมีหลักการทั่วไปคือ จะต้องมีภาพต้นแบบที่สร้างขึ้นมาสำหรับอ่านค่าภาพต้นแบบ ที่มีการกำหนดตำแหน่งสำคัญสำหรับใช้แยกแยะความแตกต่างระหว่างรูปวัตถุแต่ละรูป จากนั้นให้นำรูปภาพที่ต้องการอ่านไปทาบบนแบบเพื่อวัดความคล้ายคลึงกัน ของภาพกับตัวแบบ ในการระบุว่าเป็นรูปของวัตถุอะไร จะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเหมือน หรือค่าอื่น ๆ ทางสถิติในการตัดสิน วิธีการนี้จะค่อนข้างอ่อนไหวต่อข้อมูลแทรกซ้อน ขนาด และการเอียงของรูป จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการปรับแต่งข้อมูลที่ดี นอกจากนั้นขั้นตอนการเปรียบเทียบก็ไม่ใช่ว่าสามารถเทียบกันแบบจุดต่อจุดได้เลย เพราะในทางปฏิบัติภาพที่ส่งเข้ามาอาจมีความแปรปรวนได้หลายรูปแบบ ดังนั้นวิธีการเทียบจึงต้องมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะรองรับกับปัญหาดังกล่าว

8. ตัวอย่างการทดลอง

ตัวอย่างผลการทดสอบระบบจากโครงงานโปรแกรมคัดแยกผลไม้ [1] โดยถ่ายภาพผลไม้ในห้องมืดสนิท ให้แสงโดยหลอดตะเกียบ ขนาด 14 วัตต์ จำนวน 3 หลอดส่องไปยังผลไม้บนพื้นหลังสีขาว จากด้านบน ห่างจากพื้นหลัง 80 เซนติเมตร ถ่ายภาพโดยกล้องถ่ายรูปโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ NOKIA รุ่น N72 จากด้านบน ห่างจากพื้นหลัง 70 เซนติเมตรภาพที่ได้แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพผลไม้ที่นำมาทดสอบ

เมื่อนำรูปที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำ โดยเลือกค่าเทรสโฮลด์เป็น 10, 50, 90, 130, 170, 210 แล้ว จากผลการทดลองค่าเทรสโฮลด์เท่ากับ 90 จะได้ภาพออกมาคุณภาพดีตามรูปที่ 10 เพียงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่อ ๆ ไป

รูปที่ 10 ภาพขาวดำจากการเลือกค่าเทรสโฮลด์ที่ 90

นำภาพซึ่งผ่านการ Binarization ด้วยค่าเทรสโฮลด์เท่ากับ 90 ที่ได้ภาพมาทำการ Segmentation สามารถแยกภาพออกมาได้ 8 ส่วน นำภาพของผลไม้แต่ละส่วน ไปผ่านขั้นตอนการหมุน การย่อและการขยายจากนั้นไปเทียบกับภาพต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วยภาพผลไม้สี่ชนิดคือ มะละกอ ส้ม มะม่วงและกล้วยดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 ภาพต้นแบบของผลไม้ทั้ง 4 ชนิด

บันทึกผลลัพธ์ค่าความน่าจะเป็นโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเหมือนของภาพผลไม้ แต่ละภาพเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ และบันทึกผล

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็นของภาพผลไม้เมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ

ภาพผลไม้ต้นแบบ	ภาพผลไม้แต่ละชนิด			
	ส้ม	มะละกอ	กล้วย	มะม่วง
ส้ม	**92.74%**	54.74%	41.74%	54.38%
มะละกอ	52.23%	**87.73%**	50.23%	73.15%
กล้วย	44.50%	38.17%	**83.18%**	51.42%
มะม่วง	57.08%	77.24%	56.96%	**88.68%**

9. สรุปและวิจารณ์

จากตัวอย่างผลการทดสอบตามตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ ความน่าจะเป็นของภาพผลไม้เมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ ของผลไม้ตัวอย่างสี่ชนิดที่นำมาทดสอบ ถ้าเป็นผลไม้ชนิดเดียวกันจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเหมือนหรือความคล้ายที่สูงมากพอ ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจว่าเป็นภาพผลไม้ชนิดใด

ดังนั้นระบบการคัดแยกวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในระบบอุตสาหกรรม หรือทำเป็นโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้งานทั่วไป แต่ทั้งนี้เราอาจต้องเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการเปรียบเทียบ เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบดียิ่งขึ้น

10. เอกสารอ้างอิง

[1] ธวัชชัย หยูแก้ว, "โปรแกรมคัดแยกผลไม้", ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, 2552

[2] สมหมาย บัวแย้มแสง, "การนับจำนวนนกอพยพโดยใช้วิธีการกำหนดหมายเลข", การประชุมวิชาการ NCIT2010 ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร, 28 – 29 ตุลาคม 2553, หน้า 626 – 629

[3] C. G. Rafael and E. W. Richard, "Digital Image Processing", Addison Wesley Publishing, 2005.

[4] N. Otsu, "A threshold selection method from grey level histogram", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, Jan 1978.

[5] R. Jain, R. Kasturi, and B. G. Schunck, "Machine Vision", Inter national Editions, McGRAW-HILL, 2006.

[6] J. T. Tou and R. C. Gonzalez, "Pattern Recognition Principle", Addison Wesley Publishing, 2004.